

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilná

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2008

Lenka Mrníková

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Chemická technologie textilní

Katedra textilní chemie

Kompozity s kapalnou matricí

The liquide matrix Composites

Lenka Mrníková

Vedúci práce: Doc. Ing. Jakub Wiener, PhD.

Konzultant: Doc. Ing. Jaroslav Odvárka, DrSc.

Počet strán textu: 107

Počet obrázkov: 34

Počet tabuliek: 15

Počet grafov: 30

Počet príloh: 4

Prehlásenie

Bola som oboznámená s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. o autorskom práve, hlavne § 60 – školské dielo.

Beriem na vedomie, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mojich autorských práv použitím mojej diplomovej práce pre vnútornú potrebu TUL.

Ak použijem diplomovú prácu, alebo poskytnem licenciu k jej využitiu, som si vedomá povinnosti informovať o tejto skutočnosti TUL; v tomto prípade má TUL právo odo mňa požadovať úhradu nákladov, ktoré vynaložila na vytvorenie diela, až do ich skutočnej výšky.

Diplomovú prácu som vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry a na základe konzultácií s vedúcim diplomovej práce.

Dátum: 5. 5. 2008

Podpis: Lenka Mrníková

Pod'akovanie

Touto cestou by som sa chcela poďakovať pánovi Doc. Ing. J. Wienerovi, Ph.D. za odborné vedenie pri vypracovaní diplomovej práce a pánovi Doc. Ing. J. Odvárkovi, DrSc. za odbornú pomoc, konzultácie a cenné rady.

Ďalej moje poďakovanie patrí Prof. Ing. L. Hesovi, DrSc. za odborné a vrelé uvedenie do oblasti hodnotenia priedušnosti textílií a taktiež Ing. J. Hrůzovi za odborné uvedenie do oblasti filtrácie a technické podklady k tejto téme.

Ďalej ďakujem svojim rodičom za materiálnu a morálnu podporu počas celého štúdia.

Anotácia

Cieľom tejto diplomovej práce bolo experimentálne určiť závislosť fyzikálnych a komfortných vlastností na obsahu vlhkosti v textílii. Experimenty boli prevádzané na tkanine s plátnovou väzbou z rôznych typov prírodných i syntetických vlákien.

Boli sledované sušiacie krivky pri vysúšaní sálavým teplom, filtračná schopnosť, priepustnosť vzduchu a zmeny koeficientu trenia pre rôzne obsahy vlhkosti v textíliách.

Na všetky sledované parametre mal obsah vlhkosti v textílii nezanedbateľný vplyv. Zistené závislosti boli fyzikálne interpretované a boli naznačené súvislosti pozorovaných javov s reálnym chovaním vlhkých textílií.

Annotation

The aim of this diploma work was to experimentally assign dependency of physical and comfort properties on the content of moisture in textiles. The experiments were done on plain weave fabrics made of various types of native and synthetic fibres.

Drying curves at dehumidification with heat of radiation, filtration observation, air permeability and changes of friction coefficient for various contents of humidity inside the textiles were investigated.

The content of moisture inside the textiles had negligible effect on all investigated parameters. The investigated dependencies were physically interpreted and connections of examined phenomena with real behavior of moisture textiles were indicated.

Obsah

1	Zoznam symbolov a skratiek	11
2	Úvod	14
3	Teoretická časť	15
3.1	Kompozity	15
3.1.1	Úvod	15
3.1.2	História	15
3.1.3	Definícia a rozdelenie kompozitov	16
3.1.3.1	Matrica	16
3.1.3.2	Vystužujúca fáza	17
3.1.4	Textilné kompozity	17
3.1.5	Rozdelenie kompozitov	18
3.1.6	Zmesovacie pravidlo	20
3.1.7	Teória tvorby kompozitov	20
3.1.7.1	Výroba kompozitov s maticou v tekutom stave	21
3.2	Textilné vstupy do kompozitov	22
3.2.1	Charakteristika vlákenných materiálov	22
3.2.1.1	Bavlna	22
3.2.1.2	Vlna ovčia	23
3.2.1.3	Viskóza	25
3.2.1.4	Polyamid	26
3.2.1.4.1	Polyamid 6 (silon, dederon, perlon)	26
3.2.1.4.2	Polyamid 6.6 (nylon)	27
3.2.1.5	Polyester	27
3.2.1.6	Polypropylén	28
3.2.2	Charakteristika plošnej textílie	29
3.2.2.1	Tkanina	29
3.2.2.1.1	Základné pojmy	29
3.2.2.1.2	Základné väzby tkanín	29
3.2.2.2	Transportné vlastnosti textílií	30
3.2.2.2.1	Porozita textílií	30
3.3	Kvapalina ako zložka kompozitu	32

3.3.1.1	Charakteristika	32
3.3.1.2	Ideálna kvapalina	33
3.3.1.3	Reálna kvapalina	34
3.3.1.4	Viskozita	34
3.3.2	Zmočenie.....	35
3.3.2.1	Charakteristika	35
3.3.2.2	Zmočenie vs. vztlínanie	36
3.3.2.3	Povrchové napätie	36
3.3.2.4	Povrchová energia.....	37
3.3.2.5	Uhol zmočenia	38
3.3.2.5.1	Adhézna konštanta	39
3.3.2.6	Adhézia	39
3.3.2.7	Roztierateľnosť	41
3.3.2.8	Vplyv vody na vlastnosti vlákien.....	42
3.3.2.9	Vlastnosti vody	43
3.3.2.9.1	Fyzikálne.....	43
3.3.2.9.2	Chemické	46
3.3.2.9.3	Senzorické.....	46
3.3.3	Odstraňovanie vlhkosti	46
3.3.3.1	Vlhkosť	47
3.3.3.1.1	Adhézna vlhkosť	47
3.3.3.1.2	Kapilárna vlhkosť	47
3.3.3.1.3	Hygroskopická vlhkosť	47
3.3.3.1.4	Chemicky viazaná vlhkosť	48
3.3.3.2	Odvodňovanie textílií.....	48
3.3.3.3	Odstraňovanie vlhkosti sušením	49
3.3.3.3.1	Teória sušenia textilného materiálu	49
3.3.3.3.2	Vlastné termické sušenie.....	50
3.3.3.3.3	Javy ovplyvňujúce výsledok sušenia	50
3.4	Realizované kompozity – vlákno/ kvapalina	51
3.4.1	Vplyv vlhkosti na UPF textílií	51
3.4.2	Absorpcia vody a vplyv vlhkosti na dynamické	52
	vlastnosti syntetických horolezeckých lán.....	52
3.4.3	Vplyv vlhkosti na farebnosť	53

4	Experimentálna časť	54
4.1	Formulácia experimentu	54
4.2	Charakteristika použitého textilného materiálu	54
4.2.1	Bavlnená sprievodná tkanina	55
4.2.2	Vlnená sprievodná tkanina.....	56
4.2.3	Sprievodná tkanina z viskózovej striže.....	57
4.2.4	Sprievodná tkanina z polyamidového hodvábu	58
4.2.5	Sprievodná tkanina z polyesterovej striže.....	59
4.2.6	Sprievodná tkanina z polypropylénovej striže	60
4.3	Príprava vzoriek.....	61
4.4	Experiment I - sušiacie krivky	61
4.4.1	Teoretický úvod	61
4.4.2	Predpoklad	63
4.4.3	Použité zariadenia	64
4.4.4	Experiment.....	64
4.4.5	Výsledok merania	65
4.4.6	Vyhodnotenie	67
4.5	Experiment II- filtračná schopnosť.....	70
4.5.1	Teoretický úvod	70
4.5.1.1	Názvoslovie.....	70
4.5.1.2	Druhy filtrácie	70
4.5.1.3	Hlavné filtračné vlastnosti	71
4.5.1.4	Meracie zariadenie	73
4.5.1.5	Princíp merania	73
4.5.2	Predpoklad	74
4.5.3	Použité zariadenia	75
4.5.4	Experiment.....	75
4.5.5	Výsledok merania	76
4.5.6	Vyhodnotenie	78
4.6	Experiment III- hodnotenie priepustnosti textílií pre vzduch	79
4.6.1	Priedušnosť textílií.....	79
4.6.2	Faktory ovplyvňujúce priedušnosť textílií.....	80
4.6.2.1	Štruktúra priadze	80
4.6.2.2	Štruktúra tkaniny.....	81

4.6.2.2.1	Veličiny popisujúce parametre tkaniny	81
4.6.3	Všeobecný princíp merania priedušnosti	81
4.6.3.1	Štandardné zariadenia na meranie priedušnosti	82
4.6.3.1.1	Meracie zariadenie FX 3300 firmy TEXTTEST AG	82
4.6.4	Predpoklad	83
4.6.5	Použité zariadenia	84
4.6.6	Experiment	84
4.6.7	Výsledok merania	85
4.6.8	Vyhodnotenie	87
4.7	Experiment IV- koeficient trenia	88
4.7.1	Teória trenia	88
4.7.1.1	Makroskopické zákony	89
4.7.1.2	Druhy trenia	90
4.7.1.2.1	Trenie vlečné (šmykové, klzné)	90
4.7.1.3	Uhly naklonenej roviny	91
4.7.2	Metódy merania trenia textilných materiálov	92
4.7.2.1	Metóda naklonenej roviny	93
4.7.2.2	Koeficient trenia	94
4.7.3	Tribometer	94
4.7.3.1	Sklonný tribometer	95
4.7.4	Predpoklad	95
4.7.5	Použité zariadenia	96
4.7.6	Experiment	96
4.7.7	Výsledok merania	98
4.7.8	Vyhodnotenie	100
5	Záver	101
6	Zoznam použitej literatúry	105
7	Prílohy	108
7.1	Zoznam príloh	108

1 Zoznam symbolov a skratiek

A	skutočná dotyková plocha dvoch telies [m^2]
A_i	mikroskopická plocha dotyku dvoch telies [m^2]
A_v	povrch vlákien vo vlákennom útvare [mm^2]
A_p	povrch pórov vo vlákennom útvare [mm^2]
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CED	hustota kohéznej energie [$\text{J} \cdot \text{cm}^{-3}$]
ČSN	česká (československá) norma
d	priemer vlákna [μm]
D	vzdialenosť žiariča od ožarovanej látky [m]
D_m	celkový obsah vody na vzorkách [g]
D_{mF}	hmotnosť zachyteného prachu na absolútnom filtri [g]
DV	dlhé vlny tepelného žiarenia [μm]
E	modul pružnosti v ťahu [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$]
E_A	počiatočná odlúčivosť atmosférického prachu [%]
E_c	stredná efektívnosť [%]
E_F	efektívnosť filtra [%]
E_m	stredná odlúčivosť atmosférického prachu [%]
E_p	povrchová energia [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$]
E_S	energia vyžarovaná žiaričom [W]
EN	európska norma
F_n	kolmá zložka tiažovej sily [N]
F_t	dotyčnicová zložka tiažovej sily [N]
f_S	pevnosť vlákien za sucha [$\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$]
f_M	pevnosť vlákien za mokra [$\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$]
g	gravitačná konštanta [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
G	tiažová sila [N]
G₁	hmotnosť pevného disperzného podielu za filtrom [g]
G₂	celková hmotnosť pevného disperzného podielu [g]
G_c	celkové množstvo pevného disperzného podielu podaného počas <i>n</i> meraní [g]
G_v	gradient rýchlosti [s^{-1}]
h	výška zdvihu sklonnej dosky [mm]
I_z	intenzita žiarenia [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
IČ	žiarenie v infračervenej oblasti
ISO	medzinárodná norma
J	jímavosť [g]
KHT	Katedra hodnotenia textílií
KNT	Katedra netkaných textílií
KTC	Katedra textilnej chémie
KV	krátke vlny tepelného žiarenia [μm]

L	súhrnná dĺžka vlákien vo vlákennom útware [m]
M,m	hmotnosť [kg]
m_{ASV}	hmotnosť absolútne suchých vzoriek [g]
m_{F1}	hmotnosť "absolútneho" filtra pred filtráciou [g]
m_{F2}	hmotnosť "absolútneho" filtra po filtrácii [g]
mp	mokrý prívažok - merná vlhkosť textílie [%]
m_{VF}	hmotnosť vzorky po filtrácii [g]
m_{vs}	hmotnosť vzduchosuchých vzoriek [g]
m_{zmoč}	hmotnosť zmočených vzoriek [g]
M_i	hmotnostný podiel kompozitu [-]
M_k	hmotnostný podiel konštituentov [-]
MED	minimálna dávka slnečného žiarenia na podráždenie pokožky [min]
n	empirický exponent zmesovacieho pravidla kompozitov
N	normálová tlaková sila [N]
Δp	tlakový spád [Pa]
p	plocha priečneho rezu vlákna [mm ²]
p₁	tlak vzduchu pred filtrom [Pa]
p₂	tlak vzduchu za filtrom [Pa]
P	priedušnosť textílie [m.s ⁻¹]
pH	vodíkový exponent
P_F	prienik pevného disperzného podielu filtrom [-]
PPS	priemerný polymeračný stupeň [-]
q	tvarový faktor vlákna podľa Malinowskej [-]
q_v	priemerná rýchlosť prietoku vzduchu [dm ³ .min ⁻¹]
r	polomer mikrokapiláry [μm]
R	reakčná sila vyvolaná odporom podložky [N]
R²	korelačný koeficient [-]
RH	relatívna vzdušná vlhkosť [%]
RWS	Rope Working Simulator
s	plošný obsah [m ²]
S	ľavý zákrut priadze [-]
S_A	axiálne dĺžkové bobtnanie [μm]
S_D	radiálne dĺžkové bobtnanie [μm]
S_H	Harinsonov roztierací koeficient
S_M	zdanlivá makroskopická plocha dotyku dvoch telies [m ²]
S_R	radiálne plošné bobtnanie [μm ²]
S_V	objemové bobtnanie [μm ³]
SV	stredné vlny tepelného žiarenia [μm]
T_t	teplota [°C]
Δt	časové zdržanie [s]
T	trecia sila [N]
T₀	trecia sila nutná k uvedeniu telesa do pohybu [N]

UPF	ochrana proti ultrafialovej zložke slnečného žiarenia [-]
UVA	zložka slnečného žiarenia v ultrafialovej oblasti, typu a [-]
UVB	zložka slnečného žiarenia v ultrafialovej oblasti, typu B [-]
ÚZCHV	Ústav pre spracovanie chemických vlákien
V, v	objem [m^3]
V_C	celkový objem vlákenného útvaru [μm^3]
V_i	objemový podiel kompozitu [-]
V_k	objemový podiel konštituentov [-]
V_p	objem pórov [μm^3]
v_v	obsah vzdušnej vlhkosti [g]
v_{vv}	obsah vzdušnej vlhkosti na vzorkách [g]
W_a	adhézna práca [J]
W_k	kohézna práca [J]
W_{SP}	práca zmočenia [J]
Z	pravý zákrut priadze [-]
α	uhol naklonenej roviny [°]
α_0	uhol trenia v klude [°]
δ	stredné napätie v tlaku [N.m^{-2}]
γ	povrchové napätie kvapaliny [N.m^{-1}]
γ_{LG}	povrchové napätie na fázovom rozhraní kvapalina (L) - vzduch (G) [N.m^{-1}]
γ_{SG}	povrchové napätie na fázovom rozhraní pevná látka (S)- vzduch (G) [N.m^{-1}]
γ_{SL}	povrchové napätie na fázovom rozhraní pevná látka (S)- kvap. (L) [N.m^{-1}]
μ^*	zaplnenie [-]
μ	dynamický koeficient šmykového trenia [-]
μ_0	statický koeficient šmykového trenia [-]
η	dynamická viskozita [N.s.m^{-2}]
θ	kontaktný uhol medzi povrchom kvapaliny a povrchom vlákna [°]
ν	kinematická viskozita [$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$]
π	Ludolfovo číslo
ρ	hustota kvapaliny [kg.m^{-3}]
τ	dotyčnicové napätie [N.m^{-2}]
ψ	porozita [-]
κ	elektrolytická konduktivita [S.m^{-1}]

2 Úvod

V dnešnej dobe sa s textíliami v rôznych formách stretávame na každom kroku. Plnia funkciu zahaľovaciu, ochrannú a dekoratívnu ako odevy. So širokou paletou sortimentu bytového textilu si skrášľujeme aj interiéry našich príbytkov. Čoraz častejšie sa však stretávame s textíliami na nezvyčajných miestach, v nezvyčajných formách, s nezvyčajným využitím a funkčnosťou. Hovoríme im technické textílie. Vlastnosti týchto textílií, či už mechanické, komfortné alebo fyzikálne, možno jednoducho meniť zmenou parametrov vstupných zložiek alebo technologickým spracovaním. V posledných desaťročiach materiálový a technologický výskum smeruje k vývoju kompozitných materiálov s využitím rôznych textilných štruktúr.

V tejto diplomovej práci sme pojali vlhkú textíliu ako jeden z druhov kompozitov, teda textilný kompozit s kvapalnou matricou. Na prvý pohľad nezvyčajná kombinácia, no v praktickom živote veľmi často používaná.

Ku každému upratovaniu neodmysliteľne patrí vedro s vodou a nejaký "poriadny kus textílie". Každý z nás používa túto dômyselnú kombináciu už automaticky, bez akéhokoľvek zamýšľania sa. A prečo? Jednoducho to funguje. Vlhkosť na textílii výrazne ovplyvňuje jej vlastnosti. Voda na textílii je adsorbentom prachových častíc, zaručuje zachytenie a transport nečistôt k vláknu a zabezpečí ulpenie nečistoty na vlákne alebo v objeme kvapaliny.

Pri telesnej námahe či zvýšenej teplote prostredia dochádza k termoregulácii organizmu. Telo sa začína potiť a odev odvádza vlhkosť od pokožky. Práve v tomto okamihu dochádza ku zmenám vlastností textílie. Znižuje sa priepustnosť tepla, vodných pár i priedušnosť.

Ďalším praktickým využitím mokrej textílie je jej využitie pri požiaroch, kedy môže dočasne nahrádzať respirátor, zabraňujúci prenikaniu nebezpečných plynov.

Nie je samozrejme textília ako textília. O vlastnostiach jednotlivých textílií nerozhoduje iba materiálové zloženie, ale samozrejme i druh plošnej textílie, väzba, dostava, pórovitosť, zaplnenie, plošná hmotnosť atď.

Zámerom tejto diplomovej práce bolo určiť mieru závislosti skúmaných vlastností na obsahu vlhkosti textilného materiálu. Jednotlivé pokusy boli prevedené na plošných textíliách plátrovej väzby z rôznych vlákenných materiálov.

3 Teoretická časť

3.1 Kompozity

3.1.1 Úvod

Možnosti klasických, najmä izotropných materiálov (kovy a ich zliatiny) sú už natoľko vyčerpané, že sa už len veľmi ťažko, i pri použití najmodernejších postupov, darí dosahovať vyšších materiálových charakteristík a tým vyšších výkonových parametrov navrhovaných konštrukcií a zariadení. K riešeniu tohto problému prispela materiálová veda vývojom nových progresívnych materiálov na báze heterogénnych sústav zložených z dvoch alebo viacerých chemicky a fyzikálne odlišných zložiek s navzájom vhodnou kombináciou atraktívnych vlastností. Takto bol získaný materiál s kvalitatívne novými úžitkovými vlastnosťami, ktoré sú regulovateľné v závislosti na voľbe zložiek, ich tvare, vzájomnom pomere a priestorovom usporiadaní v jeho štruktúre. Tieto materiály dostali názov *kompozity*. [13]

3.1.2 História

Použitie kompozitných materiálov sa datuje už od starých kultúr, čínskej, egyptskej a izraelskej, no príroda sama využíva kompozitné materiály už od nepamäti.

Takmer väčšina organických materiálov, ktoré možno nájsť v prírode, sú kompozity. Pojem *kompozit* v modernom slova zmysle zaradíme do obdobia okolo roku 1940, kedy boli po prvýkrát použité sklenené vlákna k zvýšeniu pevnosti plastov.

Dôležitou zložkou kompozitu môže byť i vzduch alebo iná plynová náplň. [12] Prednosťou kompozitov ako konštrukčných materiálov je veľmi priaznivý pomer pevnosti k mernej hmotnosti, tzv. merná pevnosť. Kompozity teda významne svojimi vlastnosťami rozširujú materiálovú oblasť použitia v stavbe extrémne namáhaných konštrukcií a zariadení.[13]

kompozity = materiály, ktoré sú viaczložkové, či viacfázové

Pojmy fázy a zložky, ktoré súhrne v terminológii kompozitov nazývame konštituenty, je nutné chápať v termodynamickom zmysle slova, kedy zložkou rozumieme chemického jedinca, teda látku definovanú chemickou formulou.

Fáza je potom zložka, ktorá môže podľa rozloženia základných chemických útvarov nadobúdať najrôznejšie štruktúry.

Okrem samotných konštituentov sú v kompozitoch navyše i prechodové oblasti medzi konštituentami, nazývané *rozhranie*, ktoré tvoria medzifázu konštituentov a vznikajú ich vzájomnou interakciou. [12]

3.1.3 Definícia a rozdelenie kompozitov

Kompozit je druh materiálu, ktorý je tvorený:

- niekoľkými konštituentami (zložkami, fázami), z ktorých aspoň jedna je pevná látka
- medzi konštituentami existuje pozorovateľné rozhranie
- konštituenty sú navzájom v synergickom (interaktívnom) vzťahu, kedy výsledný materiál (kompozit) sa líši svojimi vlastnosťami od súčtu vlastností konštituentov. [12]

synergický efekt - jav, kedy niektoré(aspoň jedna) vlastnosti zložených materiálov sú lepšie oproti jednoduchému súčtu vlastností jednotlivých zložiek.

Zložené kompozitné materiály sú heterogénne systavy tvorené niekoľkými zložkami (fázami). Kombináciou materiálov možno kombinovať ich vlastnosti, čo umožňuje dosiahnuť lepšie výsledky než u materiálov homogénnych. [12] Kompozitná sústava je tvorená maticou, tj. fázou spojitou, ktorá je armovaná výstužou, ktorá je zvyčajne fázou nespojitou.

Textilný kompozit je kompozit, ktorého jedným konštituentom je textília, u vláknového kompozitu sú jedným konštituentom vlákna, ktoré tvoria *výstuž*. Druhou zložkou je *matrica*.

3.1.3.1 Matrica

Základnou funkciou matrice je prenos vonkajšieho zaťaženia na výstužnú fázu. Je požadovaná dobrá súdržnosť matrice s materiálom vystužujúcej fázy (dokonalá zmočivosť bez chemickej reakcie na medzifázovom povrchu matrice a výstuže) a často tiež jej nízka hmotnosť. Spája jednotlivé časti výstuže a chráni ich pred vonkajšími vplyvmi a zabraňuje rozvoju krehkého porušenia. Pri výrobe kompozitu s lepšími mechanickými vlastnosťami než má východzia matričná zložka, sa musí jednak zvoliť

pevnejšia výstužná fáza (vlákno) a musí byť zabezpečená dobrá adhézna väzba medzi výstužou a matricou. [13]

3.1.3.2 Vystužujúca fáza

Od vystužujúcej fázy sa vyžaduje vysoká pevnosť, vysoký modul pružnosti E (asi o stupeň vyšší než modul matrice) a malá deformácia do lomu pri vysokom podiele pružnej deformácie. Výstužná fáza prenáša prevažnú časť vonkajšieho zaťaženia. Mechanizmus pevnostného správania kompozitu je závislý na tvare, koncentrácii a orientácii výstuže.

3.1.4 Textilné kompozity

Jednou z dôležitých skupín kompozitov sú vláknové kompozity, v ktorých jedným z konštituentov je sústava vlákien. Z vláknových kompozitov sú najvýznamnejšie kompozity vrstvomé, ktoré z geometrického hľadiska tvoria dvojrozmerný (plošný) útvar. Vláknenné dvojrozmerné sústavy môžu byť tvorené jednoduchými vlákennými vrstvami, ako sú pavučiny, rúna, tak i zložitejšími vlákennými štruktúrami textílií, ako sú netkané textílie, pleteniny, tkaniny alebo ich kombinácie.

Textilné útvary tvoria jeden z dôležitých vláknových konštituentov kompozitov a nazývajú sa textilné kompozity. Ak tvorí textília sama o sebe vláknový kompozit, je dôležitým konštituentom pre vrstvené textílie.

Kompozitnými materiálmi nazývame materiály vytvorené aspoň z dvoch častí, z ktorých aspoň jedna je pevná a jej vlastnosti sa výrazne odlišujú od vlastností ostatných konštituentov a vlastností získaných ich adíciou. Tieto nové vlastnosti sú prevažne spôsobené interakciou konštituentov na rozhraní, ktoré sú zložkami v termodynamickom zmysle slova.

Jeden alebo viac konštituentov tvoria nespojitú fázu obklopenú spojitým prostredím, matricou. Diskrétné časti tvoria výstuž matrice.

Pre ujasnenie a čiastočnú kvantifikáciu pojmu kompozitov je výhodné uviesť i kvantifikatívne údaje. Materiál budeme považovať za typický kompozit, ak je jeho objemový podiel výstuže väčší než 10 % a ak sa líšia vlastnosti konštituentov aspoň päťnásobne.

3.1.5 Rozdelenie kompozitov

Ak majú častice výstuže vo všetkých troch nezávislých smeroch približne rovnaké rozmery, nazývame ich *partikulárne* (časticové) kompozity. Ak výrazne prevažuje jeden z troch rozmerov častíc výstuže, ide o kompozit *fibrilárny* (vláknový). Fibrilárne kompozity sa ďalej rozdeľujú na: kompozity s krátkymi vláknami, s dlhými vláknami a tiež hybridné, tj. viacvrstvové kompozity pozostávajúce z vrstiev rôznych vlákien.

U kompozitov rozoznávame ich *superštruktúru* (makroštruktúru), *infraštruktúru* a *mikroštruktúru*.

Superštruktúrou rozumieme znalosť konšituentov, ich rozloženie a vzájomné väzby v makroskopickom meradle, infraštruktúrou potom štruktúru jednotlivých konšituentov bez ohľadu na prítomnosť ostatných konšituentov a mikroštruktúra je štruktúra konšituentov a medzifáz na molekulárnej či atómovej úrovni.

Textílie sú zvláštny a špeciálny prípad kompozitov, v ktorých prinajmenšom jeden konšituent tvoria vlákna rovnakého typu a druhú zložku tvorí vzduch. Teda možno povedať, že maticou v textíliách je vzduch.

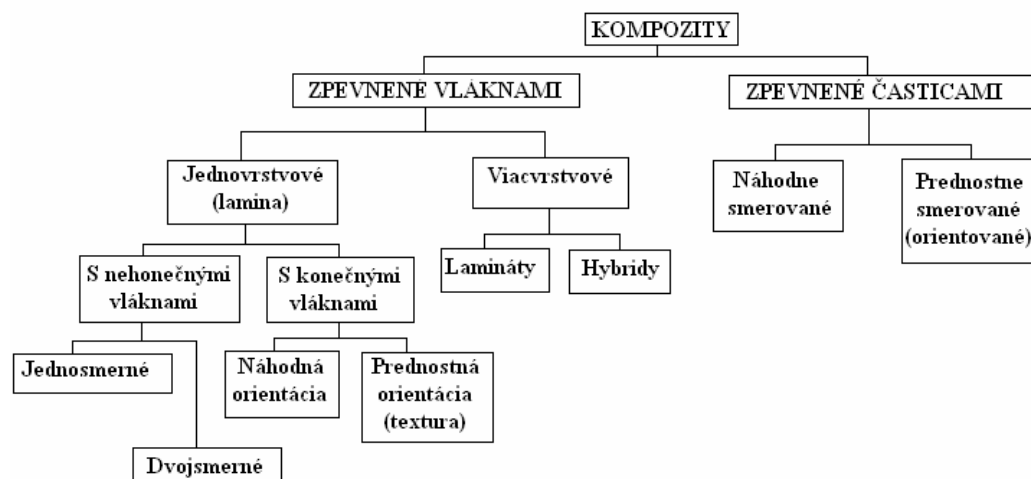
Vrstvové kompozity, hlavne po ich laminovaní, je možné využiť na najrôznejšie účely, ktorých funkčnými vlastnosťami nemusia byť vždy len vlastnosti mechanické. Tie však vždy tvoria nosný prvok pre iné, napr. optické, elektrické a iné vlastnosti. I keď mechanické vlastnosti môžu byť v niektorých prípadoch pre funkciu kompozitu sekundárne, vždy sa veľkou mierou využívajú ako nosné vlastnosti a preto ich považujeme, práve tak ako u textílii, právom za najdôležitejšie.

Vlastnosti kompozitov sú silno ovplyvňované vlastnosťami ich konšituentov, ich rozložením a interakciami medzi nimi, tj. štruktúrou. Na vlastnosti kompozitov majú vplyv i výstužné častice, ich hustota a orientácia, ak sú častice podlhovastého tvaru.

Hustota diskretných častíc v spojitnej matici sa vyjadruje *objemovým alebo hmotnostným zlomkom*, ktorý považujeme za jeden z najdôležitejších parametrov kompozitu. Rozloženie častíc potom určuje rovnomernosť (homogenitu) alebo nerovnomernosť (heterogenitu) kompozitu. Ak majú častice vo všetkých smeroch rovnaké rozmery, vytvárajú *izotropné kompozity*. Ak nie sú rozmery výstužných častíc vo všetkých smeroch rovnaké, potom vytvárajú izotropný kompozit iba pri náhodnej orientácii častíc. Inak sa tvoria *kompozity anizotropné*.

Väčšina doteraz vyvinutých kompozitov sa vyrába pre zlepšenie mechanických vlastností materiálov ich matrice ako je pevnosť, tuhosť a prevádzkové vlastnosti za

zvýšených teplôt. Najdôležitejšia z nich je pevnosť, ktorá výrazne závisí na geometrii výstužného konštituentu. Preto sa kompozity najčastejšie rozdeľujú podľa geometrických kritérií rozložených výstužných častíc. Schematické rozdelenie kompozitov z tohto hľadiska je uvedené na obr 3.1. [12]



Obr. 3.1 Klasifikácia kompozitných materiálov [12]

Skutočná pevnosť materiálu je o niekoľko stupňov nižšia než pevnosť teoretická. Je to spôsobené nedokonalosťou pevných látok, t.j. prítomnosťou porúch, chýb a trhlín v pevných látkach. Preto je potrebné napríklad pri zvyšovaní pevnosti materiálov minimalizovať prítomnosť trhlín alebo ich úplne vylúčiť. To je možné uskutočniť napríklad použitím vlákien, najmä syntetických. Vo vláknach je totiž na minimálnu mieru znížená prítomnosť trhlín a ich pevnosť je preto mnohonásobne vyššia než pevnosť rovnakého materiálu v makroskopickom objeme. Najpoužívanejším výstužným materiálom pre kompozity sú dnes sklenené vlákna. [12]

3.1.6 Zmesovacie pravidlo

Kompozity sú tvorené dvoma alebo viacerými konštituentami, ktoré sú nositeľmi svojich vlastných fyzikálnych vlastností. Je prirodzené očakávať, že výsledné fyzikálne vlastnosti kompozitov budú funkciami jednotlivých fyzikálnych vlastností konštituentov.

Každý konštituent sa podieľa na výslednej vlastnosti svojím zastúpením, ktoré je zvykom u kompozitov vyjadrovať buď objemovým V_k , alebo hmotnostným M_k podielom (zlomkom) jednotlivých konštituentov. Ak označíme objem a hmotnosť i -tého konštituentu v_i a m_i , celkový objem a hmotnosť kompozitu v , m , potom objemové a hmotnostné zlomky V_i , M_i definujeme týmito vzťahmi:

$$V_i = v_i / v, M_i = m_i / m, \sum V_i = 1, \sum M_i = 1. \quad (1)$$

Ak označíme fyzikálne vlastnosti jednotlivých konštituentov F_i a fyzikálnu vlastnosť kompozitu F , potom za predpokladu, že kompozit je tvorený ako zmes jednotlivých konštituentov, počítame výslednú fyzikálnu vlastnosť kompozitu F podľa tohto empirického pravidla, ktoré nazývame zmesovacie pravidlo

$$F^n = \sum V_i F_i^n = \sum M_i F_i^n, \quad (2)$$

kde n je empirický exponent, ktorého hodnoty ležia v intervale $\langle -1, 1 \rangle$. Niektoré vlastnosti, ako napr. hustota, majú $n = 1$ a výslednú vlastnosť počítame podľa tohto zmesovacieho pravidla [12]

$$F = \sum V_i F_i. \quad (3)$$

3.1.7 Teória tvorby kompozitov

Tvorba kompozitných materiálov je založená na vzájomnom synergickom pôsobení povrchov zúčastnených zložiek (fáz), na ich fázovom rozhraní. Kritériom spojenia sú energetické stavy povrchov spájaných zložiek, podmieňujúcu vzájomnú príľnavosť (adhéziu). Pevnosť spojenia je funkciou mnohých faktorov fyzikálnej a chemickej povahy.

Prvoradým predpokladom vytvorenia stabilného spojenia je *zmočenie* výstuže matricou. Ku zmočeniu môže dôjsť fyzikálnou, alebo chemickou sorpciou, alebo tiež chemickou reakciou matrice s povrchom výstuže, čo je však nežiaduce. Zmočiace vlastnosti, okrem uvedeného ďalej závisia od vzájomnej afinity zložiek, ktorá je funkciou pomeru hodnôt jej povrchových energií. Najjednoduchšie sa pripravujú kompozity s matricou v kvapalnom stave.

Ak má byť kompozit dokonale kompaktný, musí matrica danú výstuž dobre zmočiť. Toto dosiahneme ak bude energia voľného povrchu výstuže vysoká a povrchová energia matrice čo najmenšia. V praxi sa zmočivosť definuje tzv. *kontaktným uhlom ϑ (uhol zmočenia)*, o ktorom budeme pojednávať ďalej.

Ďalšou dôležitou fyzikálnou charakteristikou matrice v kvapalnom stave je *viskozita*. Ak nie je pri výrobe kompozitu použitý pretlak (pri impregnácii výstuže), je dobré presýtenie výstuže zaručené iba pri nízkej viskozite matrice. [13]

3.1.7.1 Výroba kompozitov s matricou v tekutom stave

Spôsoby výroby kompozitov s kvapalnou matricou sú najpoužívannejšie. Základnou podmienkou výroby a získania kompozitu optimálnych vlastností je:

- dobrá zmočivosť výstuže materiálom matrice
- minimálny rozvoj chemických reakcií na fázovom rozhraní matrice

Najčastejšie sa používa *impregnácia* výstuže tekutou matricou alebo *infiltrácia* plynnou fázou v spojitosti s technológiami tvárnenia, liatia, vstrekovania ai.

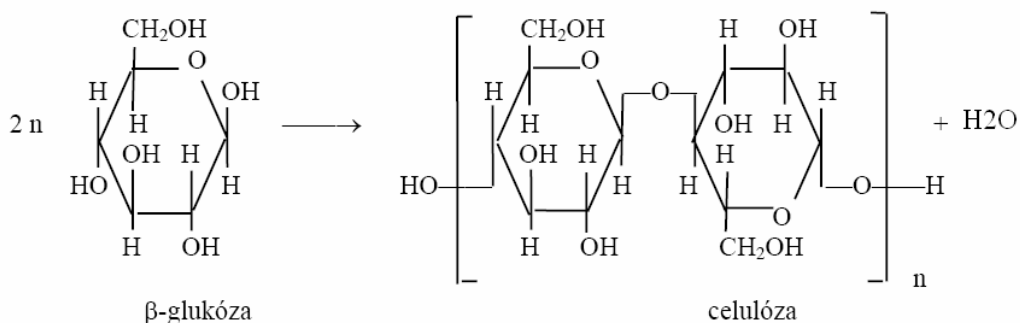
Impregnácia výstuže - podstata spočíva v presýtení príslušnou tekutou matricou vytvarovanej výstuže (vlákna, tkanina, rohože) vo forme a následným tuhnutím.

Infiltrácia výstuže - výstuž je presycovaná parami vznikajúcimi tepelným rozkladom chemických zlúčenín, tzv. prekurzorov matrice. Na výstuži (na vláknach) dochádza ku kondenzácii presýtených pár a vzniku tuhej fázy. [13]

3.2 Textilné vstupy do kompozitov

3.2.1 Charakteristika vlákenných materiálov

3.2.1.1 Bavlna



Obr. 3.2 Základná štruktúrna jednotka celulóзовých vlákien [40]

Najdôležitejšie prírodné vlákno, zdroj najčistejšej celulózy.

Definícia: Bavlna sú jednobunkové vlákna obrastajúce semena bavlníka.

Priemer vlákna: 12-17 μm

Dĺžka vlákien: 25-65 mm (podľa odrody)

Zloženie vlákna: celulóza 88 - 96%

pektíny 0,9 – 1,2 %

bielkoviny 1,1 – 1,9 %

vosky 0,3 – 1%

Ďalej: org. kyseliny, minerálne soli, cukry

Navlhavosť v štandardných podmienkach (65% RH) je 7,6 - 8,6 %

Stupeň kryštalinity: 65-90 %

Štandardná vlhkosťná prirážka: 8,5 %

Pevnosť: za sucha f_s : 2-5 cN /dtex

za mokra f_M : 100-120% f_s

Ťažnosť: za sucha 6-10%

za mokra 100-110%

Merná hmotnosť: 1560 kg/m³

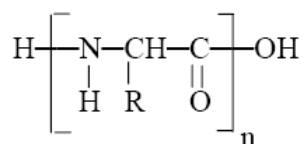
Špecifická vlastnosť: pozdĺžny pohľad – vlákno má tvar skrútenej stužky, čo je spôsobené vysúšaním vlákna po prasknutí zreých toboliek. Dochádza k tvorbe

H-mostíkov, ktoré už nemožno porušiť. To má za následok rozpad primárnej steny vlákna a konvolúciu.

Identifikácia: Horí rýchlo so štipľavým zápachom horiaceho papiera, zanecháva jemný šedý popol. Rozpúšťa sa v studenej 80% H_2SO_4

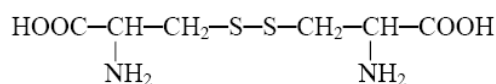
Moderné trendy: genetické šľachtenie bavlníkov

3.2.1.2 Vlna ovčia



Obr. 3.3 Základná štruktúrna jednotka proteínových vlákien [40]

Aminokyseliny obsahujúce síru spájajú susedné polypeptidické reťazce priečnou disulfidickou väzbou, tzv. cystínovým mostíkom.



Obr. 3.4 Cystínový mostík [40]

Definícia: Vlna ovčia je srst' ovce domácej. Striháním sa získava vlna vo forme rúna.

Vlnenný vlas v rúne má 2 vrstvy: podsadu a pesíky.

Patrí medzi prírodné živočíšne vlákno zo srstí. Základným stavebným prvkom sú bielkoviny (proteíny). Základnou štruktúrou bielkoviny sú polypeptidické reťazce.

Priemer: 18,8 - 23,3 μm jemná vlna - merino

24,9 - 34 μm stredná vlna - crossbred

34,0 - 39,7 μm hrubá vlna - kobercová

Dĺžka: 2,5 - 12 cm jemná vlna - merino

6 - 15 cm stredná vlna - crossbred

15 - 40 hrubá vlna - kobercová

Zákl. stavebný prvok: bielkoviny (proteíny) - keratín

Zákl. stavebná štruktúra: jednotlivé aminokyseliny sú navzájom pospájané peptidickými väzbami - polypeptidický reťazec

Navlhavosť v štandardných podmienkach (65% RH) je 10 - 12 % (16- 18 %)

Štandardná vlhkosťná prirážka: 15 - 18,25 %

Kryštalinita: 20%

Nečistoty na vlne: ovčí pot, tuk, rastlinné zvyšky, prach, trus, decht

Oblúčikovosť vlasu - ukazovateľ jemnosti: 2 - 120 oblúčikov/1 cm

jemná vlna - 120 oblúčikov/1 cm

stredná vlna - 80 oblúčikov/1 cm

málo oblúčiková - 2 - 5 oblúčikov/1 cm

Pevnosť: za sucha f_s : 0,9-1,8 cN /dtex

za mokra f_M : 70-80% f_s

Ťažnosť: za sucha 20 - 35%

za mokra 25 - 50%

Pružnosť: deformácia 2%....vratná deformácia 99%

deformácia 5%....vratná deformácia 55%

Merná hmotnosť: 1320 kg/m³

Maximálna teplota spracovania v H₂O je 120 °C. Voda urýchľuje degradáciu.

Identifikácia: pri spaľovanom teste vzniká krehká lesklá guľôčka. Typický zápach spaľovaného peria. V HNO₃ vlna žltne.

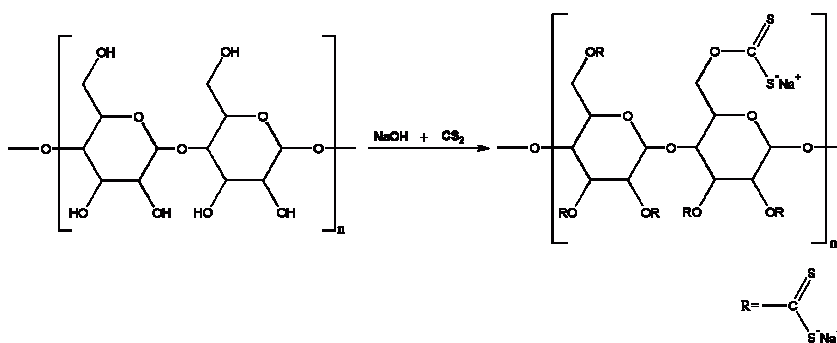
Špecifická vlastnosť: šupinkovitý povrch vlákna

Vlákno má bilaterálnu štruktúru - skladá sa z dvoch modifikácií kortexu - orto a para.

Bilaterálna štruktúra je príčinou kučeravosti vlny, orto a parakortex obtáčajú vlas v skrutkovici. Deformabilnejší ortokortex je vždy na povrchu.

Štruktúra vlasu: epikutikula (povrch vlákna), exokutikula (hlavná časť - amorfná a kryštalická vrstva, vysoký obsah cystínu), endokutikula (nízky obsah cystínu, chemicky a mechanicky odolná)

3.2.1.3 Viskóza



Obr. 3.5 Základná štruktúrna jednotka celulóзовých vlákien a xantogenát celulózy [40]

Chemické vlákno z prírodných polymérov. Vyrába sa rozpúšťaním celulózy zo smrekového alebo bukového dreva cez prechodný derivát - xantogenát.

Priemerný polymerizačný stupeň: 300 - 450

Jemnosť: hodváb: 67- 660 dtex

kordy: 1200 - 2600 dtex

Dĺžka: 30-120 mm

Kryštalinita: 27-35%

Navlhavosť v štandardných podmienkach (65% RH) je 12 - 14 %, výrazne bobtná

Štandardná vlhkosťná prirážka: 13 %

Pevnosť: za sucha f_s : 1,9-3 cN /dtex

za mokra f_M : 4,4-8,8 cN /dtex

Ťažnosť: za sucha 20-30%

za mokra 25-35%

Vo vode drasticky klesajú mechanické vlastnosti

Zvlákňovanie: pri 40 - 55 °C do roztoku s obsahom 12% H_2SO_4 , Na_2SO_4 , $ZnSO_4$

- vznik laločnatého prierezu

Dĺženie: súčasne so zvlákňovaním - rast orientácie a pevnosti

Merná hmotnosť: 1500-1520 kg/m³

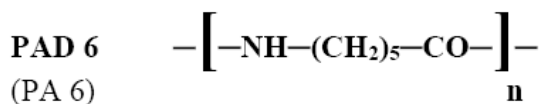
Identifikácia: vlákno sa netaví, horí a zanecháva málo popola. Je nerozpustné v acetóne. Typickým zápachom pri spaľovaní je zápach po spálenom papieri.

3.2.1.4 Polyamid

Vláknno syntetického pôvodu. Chemickou podstatou sa blíži vlne - obsahuje amidickú väzbu v hlavnom reťazci.

Najvýznamnejšie druhy : PA 6, PA 6.6

3.2.1.4.1 Polyamid 6 (silon, dederon, perlon)



Obr. 3.6 Základná štruktúrna jednotka polyamidu 6 [40]

- produkt adičnej polymerizácie laktámov - **ε-kaprolaktamu**

Jemnosť: 0,17 - 4,4 tex (striž)

Dĺžka: 25 - 150 mm

Sorpcia vlhkosti (pri 65 % RH): 3,2 - 3,5 % (striž)

4 - 4,5 % hodváb

Štandardná vlhkosťná prirážka: 6,25 % (striž)

5, 75 % (hodváb)

Vplyv vlhkosti: retencia vody 9 - 12 % zo suchej hmoty

bobtnanie pozdĺžne : 2,7 %

bobtnanie priečne: 2,5 %

Pevnosť: za sucha f_s : 3,6 - 7,5 cN /dtex

za mokra f_M : 80 - 90 % f_s

Ťažnosť: za sucha 23 - 55 %

Stupeň kryštalinity: 40 - 60 %

Priemerný polymerizačný stupeň: 100 - 200

Teplota zoskelenia: $T_g = 40 - 80 \text{ }^\circ\text{C}$ (výsledky ovplyvňuje najmä vlhkosť)

Teplota tavenia: $220 \text{ }^\circ\text{C}$

Vplyv teploty: 90 - $100 \text{ }^\circ\text{C}$ pokles pevnosti, $170 \text{ }^\circ\text{C}$ teplota mäknutia

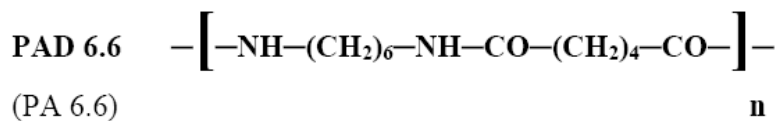
- na vzduchu dochádza k deštrukcii molekúl

Hustota kohéznej energie: $CED = 774 \text{ J/cm}^3$

Isoelektrický bod: pH 5,4

Merná hmotnosť amorfnej fázy: 1084 kg/m^3

Merná hmotnosť kryštalickej fázy: 1170 kg/m^3

3.2.1.4.2 Polyamid 6.6 (nylon)**Obr. 3.7** Základná štruktúrna jednotka polyamidu 6.6 [40]

- produkt polykondenzácie: diamíny (hexamethyléndiamín) + dikarbónové kyseliny (kyselina adipová)

Teplota tavenia: 256 °C

Teplota zoskelenia: Tg = 82 °C

Pevnosť: za sucha fs: 3,6 - 4,1 cN /dtex

Ťažnosť: za sucha 18 - 25 %

Navlhavosť: 3,8 %

Priemerný polymerizačný stupeň: 50 - 100

Vplyv teploty: 150 °C (6 hod.) žltne- pokles pevnosti

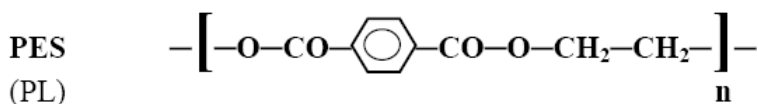
235 °C teplota mäknutia

180 - 200°C teplota žehlenia

Merná hmotnosť amorfnej fázy: 1090 kg/m³

Merná hmotnosť kryštalickej fázy: 1240 kg/m³

Identifikácia: taví sa skôr než horí, sám zhasína. Je nerozpustný v acetóne, ale rozpustný v kyseline mravčej a v studenom 4,2M HCl. Typický zápach pri spaľovacej skúške, ako zeler.

3.2.1.5 Polyester**Obr. 3.8** Základná štruktúrna jednotka polyethyléntereftalátu [40]

- popredné syntetické vlákno, kondenzačný produkt s esterovou väzbou v hlavnom reťazci (diol + dikarboxylová kyselina)

Klasické PES vlákno: **polyetyléntereftalát**

- vzniká esterifikáciou kyseliny tereftalovej a etylénglykolu

Jemnosť: 1,3 - 20 dtex (striž)

50 - 200 dtex (hodváb)

Dĺžka: 32-110 mm

Teplota tavenia: 256 °C

Teplota zoskelenia: $T_g = 77 - 80$ °C

Merná hmotnosť amorfnej fázy: 1335 kg/m³

Merná hmotnosť kryštalickej fázy: 1515 kg/m³

Navlhavosť: 0,3 - 0,4 %

Štandardná vlhkosťná prirážka: 1,5 % striž, 3,04 % hodváb

Pevnosť: 3,8 - 7,2 cN/dtex

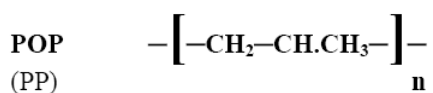
Ťažnosť: 50 - 70 %

Kryštalinita: 40 %

Koeficient trenia: $\mu_0 = 0,174$

Identifikácia: dobrá stálosť voči kyseline fluorovodíkovej, udrží si vlákňitú formu pri ponorení na 1 min do kyseliny fosforečnej. Je nerozpustný v acetóne a v koncentrovanej kyseline mravčej

3.2.1.6 Polypropylén



Obr. 3.9 Základná štruktúrna jednotka polypropylénu [40]

- monomér pre jeho výrobu je propylén, jeden z najdostupnejších petrochemických surovín. Polypropylén je vyrábaný koordinačnou polymeráciou za prítomnosti Ziegler-Nattových katalyzátorov. Výsledný polymér má vysokú kryštalinitu.

Pevnosť: 1,5 - 6 cN /dtex

Ťažnosť: 15 - 60 %

Navlhavosť v štandardných podmienkach (65% RH) je 0 - 0,005 %

Priemerný polymeračný stupeň: 100 - 200

Teplota tavenia: 160 - 170 °C

Teplota zoskelenia: -18 - 0 °C

Koeficient trenia: $\mu_0 = 0,24$

Stupeň kryštalinity: 70 - 80%

3.2.2 Charakteristika plošnej textílie

3.2.2.1 Tkanina

3.2.2.1.1 Základné pojmy

Tkanina – plošná textília vytvorená vždy z dvoch navzájom kolmých sústav nití, osnovy a útku, navzájom previazaných väzbou tkaniny.

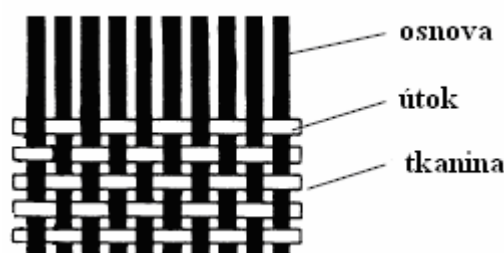
Osnova – sústava nití ležiacich v smere dĺžky tkaniny. Skladá sa z väčšieho počtu nití (stovky až tisíce) rovnobežných s okrajom tkaniny.

Útok – niť kolmá k osnove, ukladá sa rovnobežne s predchádzajúcim útkom.

Väzba tkaniny – spôsob vzájomného previazania (prekríženia) osnovných a útkových nití; znázorňuje sa do štvorčekovaného vzornicového papiera (tzv. rastru).

Dostava tkaniny – parameter, ktorý udáva hustotu (počet) danej sústavy nití na 100 mm, v praxi bežne na 10 mm.

Väzný bod/ väzná bunka - prekríženie osnovnej nite s útkom.



Obr. 3.10 Tkanina plátnovej väzby [10]

3.2.2.1.2 Základné väzby tkanín

Správna voľba väzby tkaniny je veľmi dôležitá. Vytvára nielen vlastnú tkaninu, ale dodáva tkanine určité vlastnosti (pevnosť, splývavosť, tuhosť, drsnosť, vzhľad, ohmat ai.). Voľba väzby tkaniny závisí tiež na spracovávanom materiáli (v osnove i útku) a na ďalšom použití tkaniny.

3.2.2.2 Transportné vlastnosti textílií

Ide predovšetkým o priepustnosť vzduchu, vody, vodných pár a tepla. Závisia na vlastnostiach a morfológii vlákien a z hľadiska štruktúry plošnej textílie predovšetkým na veľkosti a orientácii pórov. Súvisí so zakrytím a zaplnením textílie, ale nie jednoznačne. Napr. plošná textília môže byť priedušná i pri stopercentnom zakrytí, kde síce neexistujú póry prechádzajúce kolmo celou hrúbkou textílie, šikmé póry ale môžu vzduch a vodu prepúšťať.

Vplyv veľkosti pórov na priedušnosť a transport ostatných médií nie je lineárny vzhľadom k ich viskozite (rovnaká plocha malých pórov prepustí vzduchu a vody menej).

Zaujímavá je priepustnosť vody v kvapalnom alebo plynnom skupenstve. Je možné vyrobiť textílie (napr. z mikrovlákien), ktoré majú tak malé póry, že neprepustia vodné kvapky, avšak pre molekuly vodnej pary zostávajú priepustné. S transportom hmoty súvisí i transport tepla. [11]

3.2.2.2.1 Porozita textílií

Ak je textilný materiál vystavený pôsobeniu fyzikálnych faktorov, ktoré majú na líčnej a rubovej strane rozdielnu intenzitu, dochádza k prestupu tohto média smerom k nižšej úrovni cez plošnú textíliu, napr. prestup vzduchu, vody, vodných pár a tepla cez textíliu.

Plošná textília môže byť tvorená dvoma spôsobmi. Buď priamo z vlákien (netkané textílie), alebo z priadzí (tkaniny a pleteniny). Medzi vláknami či priadzami sa vyskytuje určité množstvo vzduchových pórov. Tento jav sa u textílií vyjadruje tzv. *porozitou*.

Veľkosť vzduchových pórov v textílii, ich tvar, usporiadanie a počet sú rozhodujúce charakteristiky plošných textílií z hľadiska ich priepustnosti pre vzduch. [33]

Porozita ψ - vyjadruje podiel objemu vlákenného útvaru vyplneného vzduchom. Vlákenný útvar má celkový objem V_C , vlákna v ňom majú objem V . Objem vzduchu (presnejšie medzivlákných priestorov) je $V_C - V$.

Porozita je potom definovaná vzťahom:

$$\psi = \frac{V_c - V}{V_c} = 1 - \frac{V}{V_c} = 1 - \mu^* \quad (4)$$

$$\mu^* = \frac{V}{V_c} \quad \mu^* \in \langle 0,1 \rangle, \quad (5)$$

kde:

μ^* zaplnenie [-]

V objem vlákien [m^3]

V_c celkový objem útvaru [m^3].

Rovnaký objem vzduchu môže byť v malom počte veľkých pórov, alebo v množstve malých pórov. Preto je potrebné stanoviť strednú veľkosť medzivlákných pórov.

Objem pórov (teda objem vzduchu vo vláknennom útvare) možno s použitím vyššie uvedených vzťahov vypočítať nasledovne:

$$V_p = V_c - V = V_c \cdot \psi = \frac{V}{\mu^*} (1 - \mu^*) = V \frac{1 - \mu^*}{\mu^*}. \quad (6)$$

Súhrnná dĺžka všetkých vlákien vo vláknennom útvare je L . Pre objem vlákien platí:

$$V = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) L \quad (7)$$

a objem pórov je podľa vzťahu (7)

$$V_p = \frac{\pi d^2}{4} L \frac{1 - \mu^*}{\mu^*}. \quad (8)$$

Použitím vzťahu $p = \pi d(1 + q)$, pre výpočet obvodu pričného rezu, možno povrch vlákien vo vláknennom útvare vyjadriť

$$A_v = Lp = L\pi d(1+q) \quad (9)$$

q tvarový faktor podľa Malinowskej

Povrch pórov A_p odvodíme za predpokladu, že tam, kde končí vlákno, začína vzduch okolo neho. Povrch pórov je súčasne povrchom vláken. Uvažujeme styk vláken v bodoch či v krivkách. Ak by boli v kontaktoch medzi vláknami dotykové plochy, nemohli by byť do povrchu pórov zahrňané. Predpoklad použitím vzťahu (9) možno zapísať v tvare [34]

$$A_p = A_v = L\pi d(1+q) . \quad (10)$$

Ďalšie geometrické charakteristiky medzivláknenných pórov možno vyjadriť po zavedení modelového predpokladu, že medzivláknenné póry sú kapiláry kruhového prierezu.

3.3 Kvapalina ako zložka kompozitu

3.3.1.1 Charakteristika

Kvapalina alebo *kvapalné skupenstvo* alebo *kvapalná látka* je tekutá forma látky a jedno zo skupenstiev, pri ktorom sú častice relatívne blízko pri sebe, ale nie sú viazané v pevných polohách a môžu sa pohybovať v celom objeme.

Vonkajšie prejavy kvapalín

- kvapalné telesá nemajú svoj tvar, ale majú tvar podľa nádoby, v ktorej sa nachádzajú
- kvapalné telesá majú vlastný objem
- kvapalné telesá majú voľný povrch (hladinu)
- kvapaliny tvoria kvapky (vd'aka slabým príťažlivým silám medzi časticami)
- kvapaliny sú ťažko stlačiteľné
- elektrický prúd vo vodivých kvapalinách sa prenáša iónmi
- teplo sa v kvapalinách môže šíriť prúdením
- kvapaliny sa snažia zaujať čo možno najmenší povrch [14]

Príťažlivé molekulové sily majú pomerne krátky dosah a preto na vybranú molekulu kvapaliny pôsobia iba molekuly z jej blízkeho okolia. Oblasť dosahu molekulového pôsobenia jednej molekuly možno vymedziť guľou o určitom polomere, opísanou okolo vybranej molekuly. Silové pôsobenie molekúl, ktoré sa nachádza mimo túto sféru, na vybranú molekulu môžeme zanedbať.

Ak sa nachádza vybraná molekula vo vnútri kvapaliny, je sféra molekulového pôsobenia plne obsadená molekulami danej kvapaliny a ich pôsobenie na vybranú molekulu je súmerné a v priemere sa vyruší. Takáto molekula sa nachádza vo voľnom (indiferentnom) rovnovážnom stave. Ak sa nachádza molekula v tenkej vrstvičke hraničiacej s iným prostredím, ocitnú sa vo sfére molekulového pôsobenia i molekuly inej látky, čím dôjde k porušeniu súmernosti silového pôsobenia a výslednica silového pôsobenia na vybranú molekulu už nebude nulová. To vedie ku vzniku *vnútorného tlaku* a *povrchového napätia*.

Molekuly, ktoré sa nachádzajú na povrchu kvapaliny medzi sebou pôsobia silami, ktoré sú dotyčnicami k povrchu kvapaliny. Ak je molekula vzdialená od miesta, kde sa povrch (hladina) kvapaliny stýka s inou látkou (napr. stenou nádoby), dotyčnicové sily pôsobiace na túto molekulu sa vyrušia a molekula sa môže voľne premiestňovať po hladine. V miestach, kde sa kvapalina stýka s inou látkou, sa do sféry molekulového vplyvu hraničnej molekuly dostávajú i molekuly cudzej látky a výslednica síl je preto rôzna od nuly. Dôsledkom sú *kapilárne javy* na rozhraní kvapaliny a pevnej látky.

3.3.1.2 Ideálna kvapalina

Ideálna kvapalina má na rozdiel od skutočnej kvapaliny tieto vlastnosti:

- je dokonale nestlačiteľná a bez vnútorného trenia
- matematický popis jej správania je pomerne jednoduchý a používa sa k modelovému skúmaniu mechanických vlastností kvapalín

Ideálnu kvapalinu môžeme získať ako špeciálny prípad ideálnej tekutiny, ak je hustota tekutiny (v celom objeme tekutiny a za všetkých podmienok) konštantná, tzn. $\rho = \text{konšt.}$ V takomto prípade je objemová deformácia nulová, tzn. stlačiteľnosť je nekonečná, čo znamená, že kvapalina je nestlačiteľná.

3.3.1.3 Reálna kvapalina

Reálna kvapalina má na rozdiel od ideálnej kvapaliny vnútorné trenie a dá sa mierne stlačiť.

Popis reálnej kvapaliny je veľmi zložitý. Fyzika preto využíva niektoré idealizácie, ktoré umožňujú lepší popis reálnych javov, než aký poskytuje ideálna kvapalina. Medzi tieto idealizácie patrí kvapalina, ktorá nie je stlačiteľná, ale má vnútorné trenie - takáto kvapalina sa označuje ako vazká (viskózna) kvapalina. Ďalej sa zavádza nestlačiteľná kvapalina (kvapalina, ktorá nemení objem a jej hustota zostáva konštantná) a kvapalina stlačiteľná (jej hustota závisí od tlaku kvapaliny). [14]

3.3.1.4 Viskozita

Viskozita, vnútorné trenie vzniká vo vnútri kvapaliny vďaka vzájomnému silovému pôsobeniu medzi časticami pri prúdení. Kvapalina s väčším vnútorným trením tečie pomaly. Na telesá pohybujúce sa v kvapaline s väčším vnútorným trením pôsobí väčšia odporová sila.

Viskozita je miera odporu tekutiny deformovať sa pod vplyvom šmykových (tangenciálnych) napätí. Určuje únosnosť hydrodynamickej vrstvy a podmienky udržania hydrodynamickeho trenia. Viskozita je závislá od teploty.

Pre ideálnu kvapalinu má viskozita nulovú hodnotu. Kvapaliny s nenulovou viskozitou sa označujú ako viskózne (vazké). [14]

Ak sa vrstvy prúdacej kvapaliny pohybujú rovnobežne rozdielnymi rýchlosťami, ide o laminárne prúdenie, potom je *dotyčnicové napätie* τ (sila pôsobiaca na jednotkovú plochu) *úmerné gradientu rýchlosti*.

Dynamická viskozita η je daná vzťahom

$$\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} = \frac{\tau}{G_v} \quad (11)$$

η dynamická viskozita Pa .s [N . s . m⁻²]

τ dotyčnicové napätie Pa [N . m⁻²]

$G_v = \frac{dv}{dy}$ gradient rýchlosti [s⁻¹]

Jednotkou dynamickej viskozity je 1 Pa.s, vedľajšou jednotkou je 1 poise = 1 P = 0,1 Pa.

Kinematická viskozita ν vyjadruje viskozitu kvapaliny so zreteľom na jej hustotu.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (12)$$

ν kinematická viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

η dynamická viskozita [$\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$]

ρ hustota kvapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Hlavnou jednotkou pre kinematickú viskozitu je [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$], vedľajšou jednotkou je 1 Stokes 1 St = 10^{-4} [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]. [15]

3.3.2 Zmočenie

Množstvo fyzikálnych a fyzikálno-chemických procesov je založených na kapilarite, teda samovoľnom prenikaní kvapaliny do poréznych sústav. Kapilárne princípy sa využívajú v množstve oborov. S praktickými ukážkami procesov vzliňania prichádzame do styku každý deň. Väčšina týchto procesov prebieha v póroch medzi vláknami v textílii. [6]

3.3.2.1 Charakteristika

Zmočenie je v podstate vzájomné pôsobenie kvapaliny a pevného povrchu, teda vlákien. Vzniká na základe adhézných a kohéznych síl a väzieb medzi kvapalinou a pevnou látkou.

Zmočivosťou sa rozumie schopnosť textílie transportovať a zadržiavať tekutinu spravidla v medzivláknenných priestoroch jej vnútornej štruktúry.

Zmočivosť je ovplyvnená morfológiou a tvarom vlákien, spôsobom spevnenia vlákenej vrstvy, úpravou povrchu vlákenného materiálu, geometrickými charakteristikami vlákien a vnútornou štruktúrou materiálu (najmä orientáciou vlákien), hodnotou koeficientu objemového zaplnenia, typom a distribúciou spojiva.

V neposlednom rade je ovplyvnená i chemickým zložením a fyzikálnymi vlastnosťami kvapalnej látky.[3]

3.3.2.2 Zmočenie vs. vzĺňanie

Zmočenie a vzĺňanie nie sú dva rozdielne procesy.

Zmočenie je podmienka pre vzĺňanie. Kvapalina, ktorá nezmočí vlákna, nemôže vzĺňať do látky. Transport kvapaliny do vlákenného útvaru, ako priadze alebo textílie, môže byť spôsobený iba vonkajšími alebo kapilárnymi silami. Spontánne prúdenie kvapaliny do pórovitého systému kapilárnymi silami sa nazýva *vzĺňanie*.

Oba tieto procesy sú dôležité z technologického hľadiska, pretože ovplyvňujú množstvo zušľachtovacích procesov, prípravu kompozitných štruktúr a procesy tvorby niektorých textilných štruktúr (spojených netkaných textílií atď.). [4]

V mnohých prípadoch je vlákno s kvapalinou iba v miestnom styku (napr. čiastočné ponorenie, kvapky kvapaliny na povrchu atď.). V týchto prípadoch dochádza k procesu zmočenia, čo sa prejavuje ustálením rovnováhy medzi kvapalinou a povrchom vlákna. U vlákenných zväzkov dochádza ku vzĺňaniu kapilárnym transportom v póroch medzi vláknami. Platí, že zmočenie je výsledkom energetických interakcií troch fáz, tj. pevnej látky, kvapaliny a okolitého vzduchu (plynnej fázy) v rovnováhe. Vzĺňanie súvisí s energetickými pomermi medzi jednotlivými fázami i s geometriou vlákenného zväzku. [2]

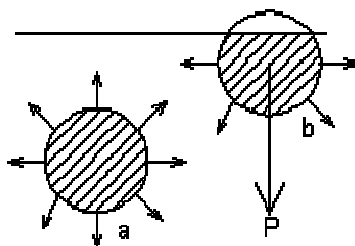
Zvyčajne sa považuje za výhodné, ak sú vlákna hydrofilné (majú afinitu k vode), tj. sú schopné viazať a transportovať vodu. Medzi hydrofilné patria všetky prírodné a chemické vlákna obsahujúce hydrofilné skupiny. V niektorých prípadoch sa vyžaduje hydrofobita, tj. nemožnosť viazať vodu špecifickými väzbami a nezmočenie povrchu vlákien. Voda sa u týchto zväzkov vlákien šíri vplyvom kapilárnych síl, resp. sa mechanicky viaže na praskliny a mikropóry. [2]

3.3.2.3 Povrchové napätie

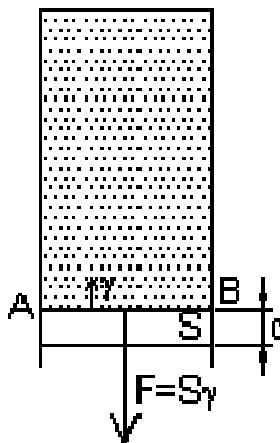
Kvapaliny sa správajú akoby ich povrch bol pokrytý tenkou pružnou vrstvou, ktorá sa snaží vtiahnuť do tvaru s čo najmenším plošným obsahom. Ak na kvapalinu nepôsobia žiadne vonkajšie sily, zaujme guľovitý tvar, pretože guľa má zo všetkých telies rovnakého objemu najmenší povrch. Ako vyplýva z obr. 3.11, je vektorový súčet medzimolekulárnych síl pôsobiacich na molekulu *a*) nulový, zatiaľ čo výslednica týchto síl pôsobiacich na molekulu *b*) pri povrchu kvapaliny vťahuje molekulu do vnútra častice. [8]

Tvar povrchu sa mení pôsobením vonkajších síl a ich veľkosťou voči povrchovým silám. Povrchová vrstva je veľmi tenká (jej hrúbka je približne 10^{-9}m) a jej fyzikálne a chemické vlastnosti sú iné než vnútorných častí kvapaliny. V tejto časti pôsobí napätie, ktoré nazývame *povrchovým napätím*.

To je definované ako sila, ktorá pôsobí kolmo na dĺžku mysleného rezu povrchom, delená touto dĺžkou a leží v rovine dotyčnicovej k povrchu vo vyšetřovanom mieste. Fyzikálny význam povrchového napätia kvapaliny γ je vysvetlený pri popise Maxwellovho pokusu, vid' obr. 3.12



Obr. 3.11 Schéma k pojmu povrchové napätie: a- molekula vo vnútri, b - molekula na povrchu [41]



Obr. 3.12 Schéma k odvodeniu sily spôsobenej povrchovým napätím [41]

3.3.2.4 Povrchová energia

Na obr. 3.12 je znázornený rámček s pohyblivou stranou AB a blana kvapaliny. Sila F , ktorú je potrebné vynaložiť ku zväčšeniu povrchu a je úmerná povrchovému napätiu a vzdialenosti $AB = s$.

$$F[N] = s [m] \cdot \gamma [N.m^{-1}] \quad (13)$$

Povrchová energia je práca, ktorú je potrebné vynaložiť na zväčšenie povrchu kvapaliny o plošnú jednotku.

$$E_p = \frac{F \cdot d}{s \cdot d} = \frac{s \cdot \gamma \cdot d}{s \cdot d} = \gamma \quad (14)$$

Jednotkou povrchovej energie je $[J \cdot m^{-2}]$ a jej číselná hodnota sa rovná γ .

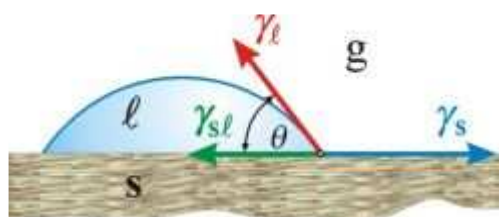
Povrchové napätie je podstatné pre spôsob rozmiestnenia disperzie spojiva vo vlákenej vrstve, pre zušľachťovacie procesy i pre transportné javy spojené s fyziologickými vlastnosťami textílií. Možno ju ovplyvniť použitím tenzidov a úpravou povrchových vlastností vlákien. [8]

3.3.2.5 Uhol zmočenia

Schopnosť zmočenia pevného telesa kvapalinou je posudzovaný podľa veľkosti povrchového, resp. medzipovrchového napätia, resp. podľa veľkosti uhla zmočenia.

Zmočením sa rozumie roztekание kvapaliny po povrchu tuhej fázy, pričom dochádza k zníženiu jeho povrchovej energie. Na fázovom rozhraní látka tuhá-kvapalná, existuje rovnováha síl, ktorá je daná vzťahom - Youngova rovnica:

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cdot \cos \vartheta \quad (15)$$

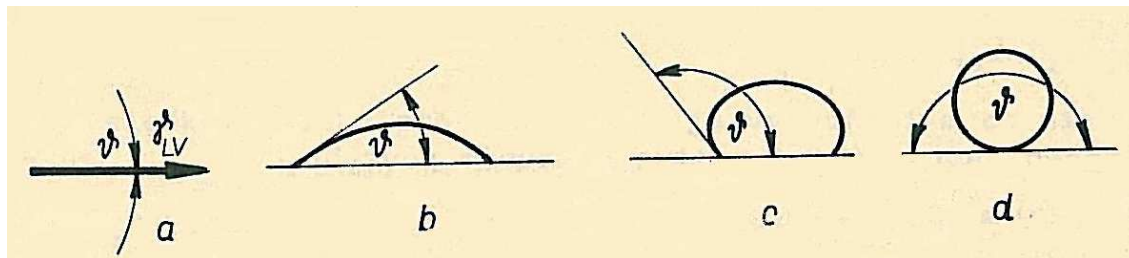


Obr. 3.13 Tvar kvapky na pevnom povrchu [42]

Uhol zmočenia:

$$\cos \vartheta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}} \quad (16)$$

Podľa veľkosti uhla zmočenia môže kvapka nadobúdať rôzne podoby a veľkosť dotykovej plochy tuhej a kvapalnej fázy sa môžu značne líšiť. Typické prípady znázorňuje obrázok:



Obr. 3.14 Uhol zmočenia [7]

- a $\vartheta = 0$ úplne zmočenie
- b $0 < \vartheta < 90^\circ$ zmočenie
- c $90 < \vartheta < 180^\circ$ zlé zmočenie
- d $\vartheta = 180^\circ$ úplne nezmočenie

Uhly zmočenia sú využívané ako miera zmočiacej interakcie medzi kvapalinou a pevnou látkou. Pre meranie kontaktného uhla sa používajú dve techniky: goniometrická a tenzometrická. [9]

3.3.2.5.1 Adhézna konštanta

Veľkosť uhla zmočenia ϑ závisí na rozdiel povrchového napätia steny pevného povrchu vzhľadom ku kvapaline a vzhľadom ku vzduchu.

Rozdiel povrchového napätia (ku kvapaline a ku vzduchu) sa nazýva adhézna konštanta. Ak je adhézna konštanta kladná, je uhol zmočenia ϑ ostrý, kvapalina zmočí stenu, javí tzv. kapilárnu elevanciu. Ak je adhézna konštanta záporná, je uhol zmočenia ϑ tupý, kvapalina stenu nezmočí, javí tzv. kapilárnu depresiu. [7]

3.3.2.6 Adhézia

Adhézia je chápaná ako súhrn fyzikálnych a chemických síl, ktorými sa pútajú dva povrchy navzájom.

Adhézia vzniká pôsobením príťažlivých síl medzi časticami povrchových vrstiev dvoch dotýkajúcich sa rôznych látok, tj. označuje priľnavosť rôznych materiálov. Medzi povrchom pevnej látky a zmočiadou kvapalinou vzniká väzba, ktorú charakterizujú adhézne sily, ktoré je možno odvodiť z merania rovnováhy adsorpčných energií termodynamickými metódami.

Adhézne sily medzi dvoma fázami (A,B) kvantitatívne vyjadruje adhézna práca (W_a). Je to práca potrebná k prekonaniu súdržnosti dvoch rôznych povrchov (fáz) o jednotkovom priereze 1 cm^2 .

$$W_a = \gamma_A + \gamma_B - \gamma_{AB} , \quad (17)$$

kde :

W_a adhézna práca [J]

γ_A povrchové napätie pre fázu a [N.m^{-1}]

γ_B povrchové napätie pre fázu B [N.m^{-1}]

γ_{AB} medzipovrchové napätie pre fázy A a B [N.m^{-1}]

Podľa Antonovovho pravidla približne platí, že medzipovrchové napätie dvoch vzájomne nasýtených kvapalín A a B sa rovná rozdielu ich povrchového napätia:

$$\gamma_{AB} = \gamma_B - \gamma_A \quad (\gamma_B > \gamma_A). \quad (18)$$

Kohézia je súhrn síl pútajúcich vlastnú hmotu spojiva pohromade. U polymérov sa uplatňujú vedľa energie chemickej väzby jednotlivých atómov v reťazci makromolekuly aj sily medzimolekulárne, tzv. Van der Walsove, príp. vodíkové mostíky.

Kohézne sily charakterizuje tzv. kohézna práca (W_K). Je to práca potrebná k prekonaniu súdržnosti hmoty o jednotkovom priereze. Tak vzniknú dva nové povrchy o dvojnásobnej celkovej ploche a kohézna práca:

$$W_K = 2 \cdot \gamma_A , \quad (19)$$

kde:

W_K kohézna práca [J]

γ_A povrchová energia plošnej jednotky povrchu A [N.m^{-1}]

Na povahu adhézie, teda na povahu síl pôsobiacich medzi dvoma povrchmi existujú v podstate tri hľadiská:

- molekulárne chemické - adsorpčná teória
- elektrostatické - elektrostatická teória
- disperzné - difúzna teória

Sila adhéznej väzby medzi polymérmi závisí teda na ich chemickej povahe a štruktúre. Dobrá adhézia sa dosahuje napr. pri vzájomnom pôsobení polárnych povrchov adhéziva s polárnym povrchom vlákna alebo nepolárnych s nepolárnymi. [7]

3.3.2.7 Roztierateľnosť

Podmienkou pre aplikáciu akéhokoľvek adhéziva je možnosť rozotrieť ho rovnomerne v príslušnej vrstve na podklad. Pomery pri roztieraní adhéziva na pevnom povrchu sú podobné ako pri roztieraní kvapalín na tuhom povrchu.

Ak tuhý povrch nahradíme kvapalinou B (ktorou je povrch upravený, napr. pri zvyšovaní alebo znižovaní adhézie) a na jej povrchu roztierame kvapalinu A, je to možné za podmienky, že:

$$\gamma_B > \gamma_A + \gamma_{AB} . \quad (20)$$

Po úprave platí vzťah

$$S_H = \gamma_B - \gamma_A - \gamma_{AB} > 0 , \quad (21)$$

kde:

S_H tzv. Harinsov roztierací koeficient [-].

Tento vzťah po dosadení do Youngovej rovnice dostane tvar

$$S_H = \gamma_{LG} (\cos \vartheta - 1) = W_{SP} = \frac{dF}{dA} , \quad (22)$$

kde:

S_H tzv. Harinsov roztierací koeficient [-]

W_{SP} práca zmočenia, tj. zmena voľnej energie systému F vzťahnutá na plochu A [J].

K roztieraniu dochádza pri kladných hodnotách Harinsovho koeficientu S_H . Pri roztieraní kvapky A po hladine kvapaliny B je potrebné prekonať kohézne sily v kvapaline, aby došlo k vytvoreniu filmu. Kvapka kvapaliny A sa pritom snaží udržať čo najmenší povrch - teda tvar kvapky. Naproti tomu na veľkej dotykovej ploche, tj. rozhraní A-B sa nasycujú intermolekulárne sily - adhézne sily - medzi oboma kvapalinami.

Konečný stav kvapaliny A na povrchu B je daný tým, ktorý z oboch druhov síl má prevahu.

Roztieranie nastane, ak sú adhézne sily väčšie než kohézia roztieranej kvapaliny.

V prípade, že:

- $S_H > 0$, potom $\gamma_{SV} > \gamma_{LV} + \gamma_{SL}$ dochádza k samovoľnému rozprestretiu kvapaliny po tuhom povrchu, pričom sa uvoľňuje teplo
- $S_H = 0$ dochádza k zmočeniu bez energetickej zmeny
- $S_H < 0$ nastáva neúplne zmočenie, na povrchu sa tvoria kvapky

3.3.2.8 Vplyv vody na vlastnosti vlákien

Voda pôsobí v polyméroch predovšetkým ako plastifikátor znižujúci teplotu zoskelenia a zvyšujúci ťažnosť. Dôsledkom absorpcie vody je zmena rozmerov tj. bobtnanie.

Všeobecne možno bobtnanie vyjadriť ako relatívnu zmenu priemeru (radiálne dĺžkové bobtnanie S_D), plochy priečného rezu (radiálne plošné bobtnanie S_R), dĺžky (axiálne dĺžkové bobtnanie S_A) a objemu (objemové bobtnanie S_V). Pre vlákna kruhového prierezu možno odvodiť

$$S_R = 2 * S_D + S_D^2 \quad (23)$$

$$S_V = S_R + S_A + S_A * S_R \quad (24)$$

Vplyvom tvorby vodíkových mostíkov v amorfných oblastiach hydrofilných vlákien dochádza k výraznému priečnemu bobtnaniu. Pozdĺžne bobtnanie je výrazne nižšie, čo vedie k anizotropii bobtnania.

U niektorých textílií (viskóza) dochádza ku kolapsu pórovitej štruktúry v mokrom stave (vplyvom silnej redukcie odolnosti voči deformáciám za mokra).

Jednoduchosť prenikania kvapaliny týmito materiálmi je priamoúmerná uhlu zmočenia a povrchovému napätiu a nepriamoúmerná polomeru pórov. [5]

Voda pozitívne ovplyvňuje elektrickú vodivosť a znižuje mernú hmotnosť. Z vlhkostí vlákien za štandardných podmienok RH $60 \pm 2\%$, $t 20 \pm 2^\circ\text{C}$ bola definovaná tzv. uzančná vlhkosť, resp. vlhkosťná prírážka. Na túto prírážku sa prepočítavajú hmotnosti vlákien pri ich nákupe tak, aby nebola predávaná voda za cenu vlákna.

S rastom vlhkosti dochádza k rastu pevnosti pre vlákna bavlnené, ľanové a jutové a k poklesu pevnosti pre vlákna vlnené, viskózové a prírodný hodváb.

Dochádza k zníženiu trenia vlákien. Rovnovážnu sorpciu vlákien ovplyvňuje tiež teplota. [9]

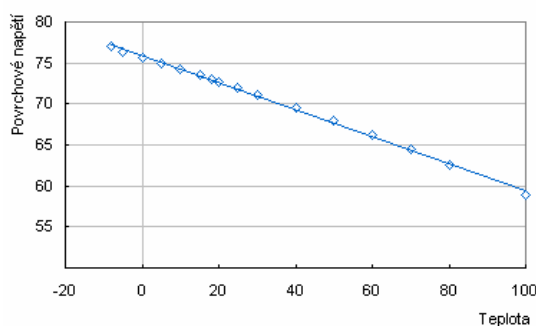
3.3.2.9 Vlastnosti vody

3.3.2.9.1 Fyzikálne

- *Povrchové napätie* je príčinou kapilárnych javov, ako je vzliavosť vody, zmáčacia schopnosť, tvorba peny, atď. Voda má v porovnaní s ostatnými kvapalinami pomerne vysoké povrchové napätie. Pri 20°C je to $7,28 \cdot 10^{-2} \text{ N.m}^{-1}$, väčšina iných kvapalín má povrchové napätie $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ N.m}^{-1}$ až $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ N.m}^{-1}$. Hodnoty povrchového napätia sú pri rôznych teplotách nasledovné:

Tabuľka 3.1 : Závislosť povrchového napätia vody na teplote

Teplota [$^\circ\text{C}$]	0	20	40	60	80
[N.m^{-1}] 10^{-2}	7,549	7,28	6,954	6,60	6,23



Obr. 3.15 Závislosť povrchového napätia vody na teplote [17]

- *Viskozita* spolu s hustotou podstatne ovplyvňuje hydraulické správanie sa vody. Od jej hodnoty závisí napr. rýchlosť filtrácie vody pieskom, rýchlosť sedimentácie. Zmenšuje sa so zvyšovaním teploty.

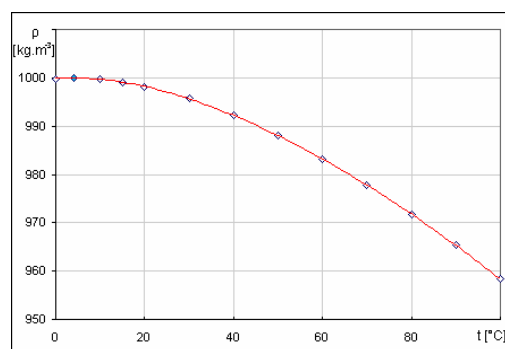
Tabuľka 3.2: *Závislosť viskozity vody na teplote*

Teplota vody [°C]	0	5	10	15	20	25	30
Kinem. viskozita 10^6 [m ² .s ⁻¹]	1,78	1,52	1,31	1,14	1,01	0,91	0,81

- *Hustota* sa mení v závislosti od teploty, avšak zmena nie je lineárna závislosť na teplote. Na rozdiel od iných kvapalín hustota vody vzrastá od 0 °C do 4 °C (3,98 °C presne) a pri tejto teplote má najväčšiu hustotu a so zvyšujúcou sa teplotou klesá (anomália vody). Destilovaná voda, teplá 4 °C bola vzatá za základ jednotiek hmotnosti a objemu. Hodnoty hustoty vody pri rôznych teplotách sú nasledovné:

Tabuľka 3.3: *Závislosť hustoty vody na teplote*

Teplota vody [°C]	0	3.98	10	20	50	100
Hustota vody [kg.m ⁻³]	999.84	999.97	999.70	998.2	988,04	958.38
Hustota ľadu [kg.m ⁻³]	916.8					

**Obr. 3.16** *Závislosť hustoty vody na teplote [17]*

- *Elektrická vodivosť* – závisí od koncentrácie iónov, od ich pohyblivosti a teploty. Obsah rozpustených solí a plynov zvyšuje vodivosť vody. Jednotkou vodivosti je Siemens, (S = W⁻¹). Charakteristickou veličinou v chémii vody je elektrolytická konduktivita (špecifická vodivosť) κ , ktorá v zriedených roztokoch je lineárnou funkciou koncentrácie zložiek.

V hydrochémii sa používa jednotka rádovo nižšia, $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Elektrolytická konduktivita závisí od teploty. Pri zvýšení teploty o 1°C vzrastie elektrolytická konduktivita elektrolytov o 2 až 2,5 %. Čistá voda je zlým vodičom elektrického prúdu, pretože je v nepatrenej miere disociovaná na ióny OH^- a H^+ . Na vedení prúdu v roztokoch elektrolytov sa zúčastňuje každý ión samostatne a výsledná merná vodivosť je daná súčtom vodivosti všetkých iónov. Prosté podzemné a povrchové vody majú zvyčajne elektrickú konduktivitu 50 až $500 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$.

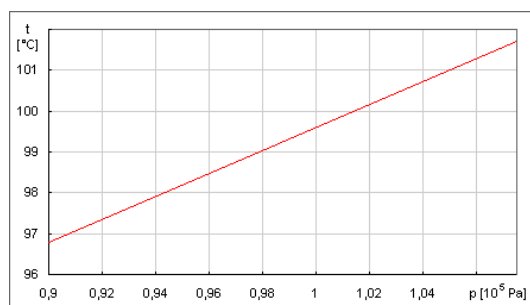
- *Hodnota pH* je jedným z najcitlivejších ukazovateľov rovnovážnych stavov v prírodných vodách. Veličinu pH definujeme ako záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iónov

$$\text{pH} = -\log a\text{H}^+ \quad (25)$$

- *Teplota varu vody vs. tlak*

Závislosť teploty varu vody na tlaku je možné približne vyjadriť rovnicou, u ktorej sú odchýlky v intervale $(0,9 - 1,075) \cdot 10^5 \text{ Pa}$ od správnej hodnoty menšie než 0,1 %: [17]

$$T_t [^\circ\text{C}] = 71,6 + 28 \cdot (p / 10^5 [\text{Pa}]) \quad (26)$$



Obr. 3.17 Závislosť teploty varu vody na tlaku [17]

- *Tepelná kapacita* (špecifické teplo) – je definované ako množstvo tepelnej energie, ktoré musí byť absorbované, aby sa teplota 1 g látky zvýšila o 1°C . Špecifické teplo vody je $4,184 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$. Veľké vodné plochy ako jazerá, moria, oceány sa podieľajú na regulácii teploty na našej zemi. [16]

Ďalšie vlastnosti

- Absorpcia svetla
- Rádioaktivita vody
- Zmeny skupenstiev vody

3.3.2.9.2 Chemické

Sú podmienené obsahom rozpustených látok vo vode.

- *Tvrdosť vody* je vlastnosť, ktorá vyjadruje obsah rozpustených nerastov (najčastejšie CaO a MgO) vode. Tvrdosť vody má význam pre jej využitie ako pitnej i úžitkovej vody. Je zdrojom tvorby vodného i kotolného kameňa, a ovplyvňuje i chuťové vlastnosti vody.

V Česku sa tvrdosť vody meria v tzv. nemeckých stupňoch, kde jeden stupeň odpovedá 10 mg CaO/liter alebo 7,2 mg MgO/liter. [14]

3.3.2.9.3 Senzorické

Môžeme ich zistiť našimi zmyslovými orgánmi. Teplota, farba, zákal, priehľadnosť, pach a chuť [14]

3.3.3 Odstraňovanie vlhkosti

Zmeny obsahu vlhkosti sú príčinou zmien fyzikálno-mechanických vlastností vlákien ako je pevnosť, pružnosť, ťažnosť, ohybnosť, súdržnosť, tepelná vodivosť atď., na ktorých závisí nielen akosť technologického procesu pri spracovaní vlákien, ale i akosť a použiteľnosť hotového textilného výrobku. [18]

Vlhkosť je na textilné materiály viazaná rôznym spôsobom. Túto celkovú vlhkosť možno podľa ich väzieb na textilné vlákno rozdeliť na:

- adhézna vlhkosť
- kapilárna vlhkosť
- hygroskopická vlhkosť
- chemická vlhkosť

3.3.3.1 Vlhkosť

3.3.3.1.1 Adhézna vlhkosť

V textilných substrátoch sa prevažne vyskytuje vplyvom ich štruktúry. Túto vlhkosť tvorí voda, ktorá sa zachytila na povrchu vlákna a voda zadržaná vo voľných priestoroch plošnej a dĺžkovej textílie. Vyznačuje sa tým, že u zavesených textílií voda pôsobením zemskej príťažlivosti steká do spodnej časti týchto textílií a odkvapkáva. Táto vlhkosť sa dá jednoducho odstrániť mechanickými účinkami ako žmýkaním, odstred'ovaním, alebo odsávaním prúdom vzduchu.

3.3.3.1.2 Kapilárna vlhkosť

Je tvorená vodou zadržovanou podstatne pevnejšie v kapilárach vzniknutých medzi jednotlivými vláknami v priadzi, alebo medzi priadzami, tj. v tzv. makrokapilárach ($1 > r > 10^{-4}$ mm) a v kapilárach vo vnútri vlákna vzniknutých medzi jeho štruktúrnymi časticami, tj. v tzv. mikrokapilárach ($r < 10^{-4}$ mm).

Do kapilár sa vlhkosť dostane zmočením textilného materiálu alebo stykom s veľmi vlhkým okolitým prostredím. Kapilárna vlhkosť obsiahnutá vo vnútorných medzimidelárnych priestoroch vlákien spôsobuje ich bobtnanie. V kapilárach je voda viazaná nielen adhéznymi silami, ktoré prevládajú, ale pôsobia tu i kohézne väzbové sily. Preto nie je možné všetku kapilárnu vlhkosť odstrániť mechanicky, ale časť vlhkosti, najmä z mikrokapilár sa odstraňuje termickým sušením.

3.3.3.1.3 Hygroskopická vlhkosť

Je daná obsahom vody, ktorý pojmu vlákna z okolitého prostredia, tj. z ovzdušia, a podržia ju v rovnováhe s relatívnou vlhkosťou tohto okolitého prostredia, na ktorej je hygroskopická vlhkosť závislá. Molekuly sú priamo viazané na molekuly textilného vlákna a množstvo molekúl vody závisí na počte neobsadených skupín reťazca molekuly polyméru textilného materiálu.

V prvej fáze sú molekuly vody rýchlo absorbované amorfnými oblasťami vlákna a menia svoje plynné skupenstvo na kvapalné. Pritom sa uvoľňuje výparné teplo vody, čo sa prejavuje ako exotermická reakcia vody a nazýva sa sorpčným teplom. V ďalšej fáze prijíma materiál ďalšiu vlhkosť iba pri priamom styku s vodou, kedy je schopný prijať oveľa väčšie množstvo vody než v predchádzajúcich prípadoch, čo sa nazýva vlhkosť bobtnacia.

Predpokladá sa, že vlhkosť preniká materiálom osmoticky následkom kmitania makromolekúl a viaže sa vodíkovými mostíkmi na materiál. S bobtnacou vlhkosťou prijíma materiál väčšie percento vlhkosti než odpovedá počiatkovej sorpčnej vlhkosti. Hygroskopickú vlhkosť nie je možné odstrániť mechanicky. Je nutné ju previesť na paru za teploty vyššej než odpovedá teplote nasýtených pár pri danom okolitom tlaku. Tento proces sa nazýva sušenie.

3.3.3.1.4 Chemicky viazaná vlhkosť

Je súčasťou chemickej štruktúry textilného materiálu. Je spôsobená kryštalickou vodou, ktorá tvorí s vláknom chemickú zlúčeninu, ktorá vzniká väzbou vody s vláknami pomocou vodíkových mostíkov. Je možné ju odstrániť iba vysokou teplotou, prevyšujúcou bod varu vody, avšak jej odstránením by došlo k rozrušeniu štruktúry vlákna, čo by nepriaznivo ovplyvnilo jeho užívateľské a spracovateľské vlastnosti ako je pevnosť, ťažnosť, ohmat, farba at. [18]

3.3.3.2 Odvodňovanie textílií

Pod pojmom odvodňovania textílií sa rozumie odstraňovanie vlhkosti z textílie mechanickým spôsobom. Podľa mechanizmu odvodňovacieho zariadenia sa rozlišujú tri základné typy odvodňovacích princípov:

- odvodňovanie žmýkaním, pri ktorom sa pôsobí na textíliu tlakom
- odvodňovanie odstred'ovaním, tj. pôsobením odstredivých síl v odstredivom poli
- odvodňovanie odsávaním, príp. prefukovaním, a to za pôsobenia rýchlo prúdiaceho média (vzduchu, pary a pod.) [18]

3.3.3.3 Odstraňovanie vlhkosti sušením

3.3.3.3.1 Teória sušenia textilného materiálu

Pri termickom sušení sa odstraňuje z textílií najmä tá zložka vlhkosti, ktorú nie je možné odstrániť fyzikálno-mechanickými spôsobmi odvodňovania. Do tejto vlhkosti sa zaraďuje adhézna vlhkosť a časť vlhkosti kapilárnej, najmä v makrokapilárach, u ktorých je možné aplikovať zákony odparovania vody z voľnej hladiny.

Každý materiál je možné vysušiť maximálne do rovnovážnej, teda hygroskopickkej vlhkosti, ktorá je jednoznačne daná zložením vlákenného polyméru, teplotou, tlakom a relatívnou vlhkosťou okolitého vzduchu. Vlhkosť textilného materiálu sa zvyčajne uvažuje ako hmotnostný podiel vlhkosti v sušenom materiáli vzťahnutý na jednotku absolútne suchého materiálu, tj. materiál, ktorý obsahuje iba chemicky viazanú vlhkosť.

Tento podiel vlhkosti sa nazýva *merná vlhkosť látky*, tzv. mokrý prívažok a dá sa vyjadriť :

$$mp = \frac{m_{H_2O}}{m_s} \cdot 100, \text{ kde} \quad (27)$$

$$m_{H_2O} = m_M - m_s, \quad (28)$$

kde:

mp mokrý prívažok = merná vlhkosť [%]

m_{H_2O} je hmotnosť vody [kg]

m_M hmotnosť vlhkej textílie [kg]

m_s hmotnosť vysušenej textílie (normované sušenie pri 105°C) [kg]

Dej, pri ktorom textílie vlhkosť strácajú, sa nazýva desorpcia vlhkosti. Opačný dej, pri ktorom vlhkosť textílie nadobúda, sa nazýva sorpcia vlhkosti. Ak sa usušený materiál nechá znova navlhnúť, rovnovážne krivky sú proti sebe posunuté, medzi nimi vzniká plocha, ktorá sa nazýva *sorpčná hysterezia*.

Rýchlosť sušenia závisí okrem iného od charakteru spojenia vlhkosti s materiálom, tzn. na druhu vlhkosti, a v priebehu celého sušiaceho procesu sa nepretržite mení v závislosti na ubúdaní vlhkosti sušeného materiálu. Vo väčšine prípadov odovzdá vlhký materiál svoju vlhkosť na začiatku sušenia oveľa rýchlejšie než na konci sušenia.

3.3.3.3.2 Vlastné termické sušenie

Zariadenia pre termické sušenie sa rozlišujú predovšetkým podľa princípu prenosu tepla na sušený materiál:

- *kontaktné (kondukčné)* sušenie, pri ktorom sa sušený materiál dotýka priamo teplých stien tepelného zdroja a teplo sa prenáša vedením, teda kondukciou
- *konvekčné sušenie*, kde sa teplo predáva materiálu konvekciou prostredníctvom sušiaceho média, napr. vzduchu, prehriatej pary, či spalín horenia
- *tryskové sušenie* je v podstate sušenie konvekciou, kde sa prestup tepla zvyšuje dynamickým účinkom rýchlo prúdiaceho sušiaceho média
- *sálavé (infra) sušenie*, u ktorého sa teplo predáva materiálu žiarením žiariča na princípe hmotovej rezonancie materiálu
- *vysokofrekvenčné* (dielektrické a mikrovlnné) sušenie u ktorého je rezonancia hmoty materiálu vybudená vo vysokofrekvenčnom poli

3.3.3.3.3 Javy ovplyvňujúce výsledok sušenia

Výsledok sušenia závisí od širokého spektra činiteľov, ktoré prakticky nie je možné spojiť v jeden celok v tvare určitej funkcie .

Sú to najmä:

- prirodzená povaha materiálu, jeho štruktúra, chemické zloženie, spôsob väzby, ai.
- tvar sušeného materiálu - rozmery jeho častí, hrúbka vrstvy, atď.
- počiatočný a konečný obsah vlhkosti materiálu a jeho kritický obsah vlhkosti, lebo na tom závisí pokles rýchlosti sušenia s časom
- vlhkosť, teplota, rýchlosť vzduchu
- spôsob a podmienky, za akých vzduch prúdi okolo materiálu
- voľba sušiaceho prostriedku
- rozdiel teplôt sušiaceho prostriedku pri vstupe a výstupe zo sušiarne
- rovnomernosť sušenia
- konštrukcia sušiarne

3.4 Realizované kompozity – vlákno/ kvapalina

Vplyv vlhkosti, či už vzdušnej, či priame pôsobenie vody na materiál, je značný. Často na prvý pohľad neviditeľné zmeny majú za následok výrazné zmeny fyzikálnych, či mechanických vlastností. Zmeny môžu byť pozitívne, vtedy dochádza k zlepšeniu vlastností, alebo negatívne, kedy pôsobenie vlhkosti môže mať za následok niekedy až úplnú degradáciu materiálu. Práve preto je tejto problematike venovaný výskum z rôznych oblastí vedy a techniky.

3.4.1 Vplyv vlhkosti na UPF textílií

Odev je dôležitým ochranným prvkom pred slnečným žiarením, prispievajúci k prevencii rakoviny kože. Vlhkosť, ktorú obsahuje textília, ktorej obsah sa zvyšuje i počas nosenia, môže znižovať schopnosť ochraňovať pokožku pred slnečným UV žiarením, to znamená, znižuje sa UPF faktor (ochranu proti ultrafialovej zložke slnečného žiarenia).

Vďaka obmedzeným dátam závislosti textilnej vlhkosti na výške UPF bol podniknutý výskum nasledovným spôsobom:

- a) vplyv vlhkých textílií z rôznych textilných materiálov zmočených pitnou vodou a slanou vodou na UPF textílií - meranie "in vitro".
- b) párový test vplyvu vlhkej textílie na hodnoty UPF sledujúci podráždenie pokožky - meranie "in vivo".

Test:

Na test a) bolo použitých 69 letných materiálov, ktoré boli spektrofotometricky hodnotené najskôr za sucha a potom zvlhčené (pitnou vodou a slanou vodou). Množstvo prepustených UVA a UVB lúčov [%] boli prepočítané z hodnôt priepustnosti suchých textílií.

Pre test b) boli použité vzorky zo 100% bavlny a 100% polyesteru a hodnota UPF bola stanovovaná "in vivo". Minimálna dávka do podráždenia kože (MED) bola stanovovaná pre 12 objektov inak neochránených, na suchej a hydratovanej pokožke. Bezpečná MED bola stanovená, keď pokožka testovaného subjektu bola pokrytá suchou a zmočenou textíliou. Hodnoty "in vivo" UPF boli prepočítavané z týchto dát MED.

Výsledky: V teste a) "in vitro" neboli zaznamenané žiadne rozdiely medzi textíliami zmočenými pitnou vodou a slanou vodou. Samotné zvlhčenie však malo vplyv na zmenu intenzity hodnôt UPF a priepustnosť UVA a UVB lúčov. U tkanín z hodvábu, viskózy a polyesteru sa UPF výrazne zvýšilo. Pre bavlnu a matovaný polyester sa UPF výrazne znížil. U modálnych textílií a crepového matovaného polyesteru sa UPF výrazne zvýšilo.

Z testovania "in vivo" hodnoty MED u hydratovanej neochránenej pokožky neboli výrazne odlišné oproti hodnotám MED suchej neochránenej pokožky.

Hodnoty získané odčítaním hodnôt UPF suchých textílií "in vivo" od UPF suchých textílií in "vitro" a odčítaním UPF hodnôt vlhkých textílií "in vivo" od UPF vlhkých textílií "in vitro" nie sú odlišné.

Záver: Testovanie textílií zmočených pitnou a slanou vodou neprinieslo žiadne výsledky. Testovanie suchej a mokrej textílie by malo byť dôkladnejšie preskúmané s dôkladnejším zameraním sa na vplyv vlhkej textílie na rôzne UPF hodnoty. Vyššie uvedený efekt vlhkých textílií na hodnoty UPF sa potvrdil iba na textíliách s vysokým obsahom vlhkosti a žiadnym spôsobom ho neovplyvňuje vlhkosť z pokožky. [19]

3.4.2 Absorpcia vody a vplyv vlhkosti na dynamické vlastnosti syntetických horolezeckých lán

Moderné syntetické horolezecké laná môžu pojať okolo 35 % vody pri praktickom používaní. Tento efekt je negatívny kvôli zvyšovaniu hmotnosti a zhoršenej manipulácii. Ďalším negatívnym vplyvom je zamŕzanie tejto vlhkosti. Na druhej strane, vlhkosť ovplyvňuje i ich mechanické vlastnosti. Výskumy vodoodpudivého efektu takýchto lán sú založené na statických metódach testovania, ktoré nie je možné adekvátne prirovnáť praktickému používaniu. Nová metóda vlhčenia horolezeckých lán, ktorá sa nazýva RWS(Rope Working Simulator), bola vyvinutá a umožňuje zvlhčenie a testovanie množstvom praktických metód. Na tomto zariadení je lano sprejované vodou, prenášané a ohýbané na simulovaných karabínach, kde sa simuluje praktické používanie. Po tomto zaťažovaní je lano testované dynamicky podľa normy EN 892 vo vlhkom stave.

Pre vlhkosť lana, ktorá väčšia než 4%, je DROPS hodnota výrazne trvalo znížená a u vlhkosti vyššej než 25 % hodnota DROPS môže trvalo klesnúť pod najnižšiu

prípustnú hodnotu danú štandardom (5 stupňov). Tento pokles je sprevádzaný zvýšením nárazovej sily, ktorá môže dosiahnuť až 12 % dokonale mokrého lana. [44]

Počet normovaných pádov: Norma EN 892 vyžaduje pri jednoduchých lanách minimálny počet 5-tich pádov s 80-kilovým závažím.

Počet zadržaných pádov pri skúškach je priamym meradlom bezpečnostnej (pevnostnej) rezervy lana. U žiadneho nového lana nemôže v praxi dôjsť k jeho pretrhnutiu pri rázovom zaťažení, za predpokladu jeho dobrého stavu a správnej práce s ním (ochrana pred stykom s hranami). Bezpečnosť lana sa postupne znižuje vplyvom starnutia materiálu a jeho opotrebovaním, tj. vplyvmi, ktoré znižujú jeho pevnosť. Tiež vlhkosť, ktorá často pôsobí na vlákna polyamidu, z ktorého je lano zhotovené, znižuje jeho pevnosť.

3.4.3 Vplyv vlhkosti na farebnosť

Keď textilný materiál absorbuje kvapalinu, jeho farba sa javí hlbšia, čo je spôsobené zmenou odrazu svetla. Rozdiely difúzneho odrazu medzi vzduchom a kvapalinou vedie k diferenciam vo farebnej hĺbke u textílií v suchom a mokrom stave. Využitím tohto poznatku je možné presne zmerať absorbanciu určitých vlnových dĺžok svetla. V tomto výskume je reflexná charakteristika meraná na spektrofotometri pre zistenie farebnej zmeny v závislosti na obsahu kvapaliny. Sledovanou textíliou bola tkanina s plátňovou väzbou zo štepených vlákien nylon/polyester združených do polyfilu. Odrazivosť svetla vzoriek je meraná v rozsahu 400 až 700 nm na spektrofotometri. Regresná analýza výsledkov ukazuje významnú lineárnu závislosť medzi množstvom absorbovanej kvapaliny a reflexnými charakteristikami (jas, farebná odchýlka). Vzájomný vzťah regresnej analýzy vzoriek do maximálneho obsahu vlhkosti, ktorá predstavovala 60 % bol oveľa vyšší ako u vzoriek so 100 % obsahom kvapaliny. Zistený koeficient vo väčšine prípadov nadobúdal vysokých hodnôt. [45]

4 Experimentálna časť

4.1 Formulácia experimentu

Cieľom experimentálnej časti tejto diplomovej práce bolo sledovať zmenu vlastností šiestich rôznych textilných materiálov v závislosti na zmene obsahu vlhkosti.

Pri jednotlivých vzorkách textílií boli po zmočení sledované sušiacie krivky, filtračné schopnosti, zmeny priedušnosti pre vzduch a koeficienty trenia.

4.2 Charakteristika použitého textilného materiálu

K experimentu boli použité sprievodné tkaniny používané k skúške stálofarebnosti textílií z rôznych vlákenných materiálov, tzv. normované textílie. Ide o jednozložkové, materiálovo 100% čisté textílie plátnovej väzby predupravené výrobcom, nižšie uvedených technických parametrov, ktoré sú stanovené jednotlivými normami podľa ČSN.

4.2.1 Bavlnená sprievodná tkanina

- táto tkanina je používaná k skúšaniam stálofarebnosti textílií. Norma stanovuje technické parametre a zapúšťacie vlastnosti.

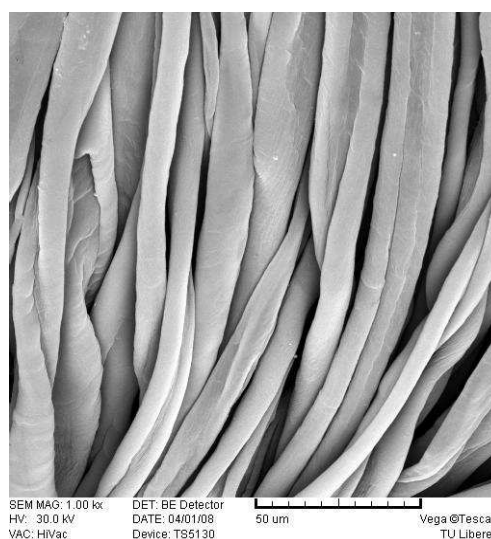
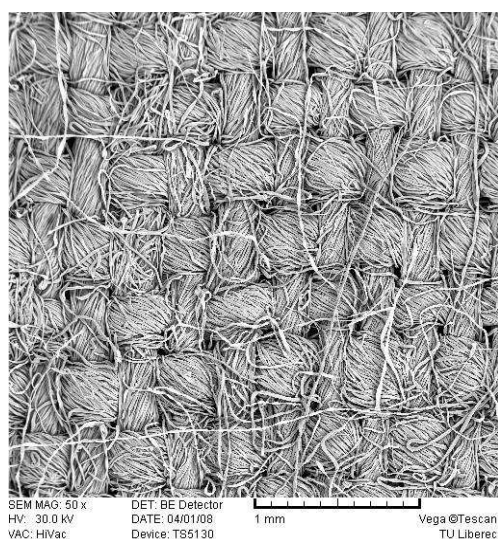
Tabuľka 4.1: Technické parametre

Materiál		Menovitá hodnota
Vláknenný materiál		bavlna I. trieda
Jemnosť priadze	osnova	20 tex
	útok	25 tex
Zákruty priadze	osnova	Z 896
	útok	Z 747

Tabuľka 4.2: Sprievodná tkanina musí vyhovovať nasledujúcim požiadavkám

Znak		Hodnota znaku
Väzba		plátnová
Plošná hmotnosť [g.m ⁻²]		125 ± 5
Dostava [cm ⁻¹]	osnova	32 nití ± 2%
	útok	26 nití ± 2%
Belosť [%]		min 85
Priemerný polymeračný stupeň (PPS)		min 1800
pH výluhu upravenej tkaniny		7 ± 0,5
Schopnosť zapúšťania		diferencia oproti referenčnej tkanine odpovedajúca maximálne stupňu 4 až 5 podľa šedej stupnice pre hodnotenie zmeny odtieňa

Výrobca: TIBA, Dvůr Králové nad Labem
Podľa normy ČSN 80 0101 [20]



Obr. 4.1 Bavlnená tkanina, vláknenná surovina

4.2.2 Vlnená sprievodná tkanina

- táto tkanina je používaná k skúšaniam stálofarebnosti textílií. Norma stanovuje technické parametre a zapúšťacie vlastnosti.

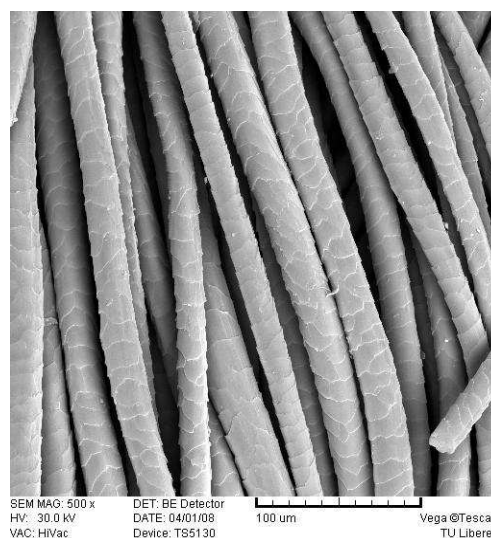
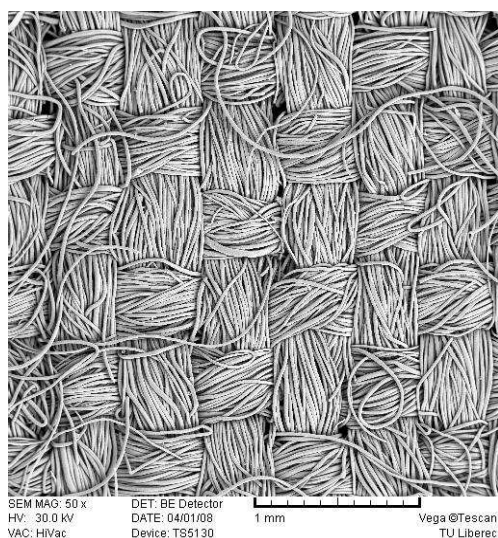
Tabuľka 4.3: Technické parametre

Materiál		Menovitá hodnota
Vláknenný materiál		100% vlnený česanec rezný 66's osn.,
Jemnosť priadze	osnova	19 tex x 2
	útok	19 tex x 2
Zákruty priadze	osnova	Z 600, S 540
	útok	Z 600, S 540

Tabuľka 4.4: Sprievodná tkanina musí vyhovovať nasledujúcim požiadavkám

Znak		Hodnota znaku
Väzba		plátnová
Plošná hmotnosť [g.m ⁻²]		160 ± 6
Dostava [cm ⁻¹]	osnova	22 nití ± 2%
	útok	
Belosť v [%]		min 55
Obsah tuku [%]		0,4 ± 0,1
pH výluhu upravenej tkaniny		7 až 8
Schopnosť zapúšťania		rozdiel max. 0,5 stupňa oproti zapusteniu referenčnej vlnenej doprovoďnej tkaniny
Vzhľad		rovnomerne hladký povrch; vzorka, ktorá bola zmočená a usušená v nenapnutom stave

Výrobca: Mosilana n.p. Brno
Podľa normy ČSN 80 0107 [21]



Obr. 4.2 Vlnená tkanina, vláknenná surovina

4.2.3 Sprievodná tkanina z viskózovej striže

- táto tkanina z viskózovej striže je používaná k skúšaniam stálofarebnosti textílií. Norma stanovuje technické parametre a zapúšťacie vlastnosti.

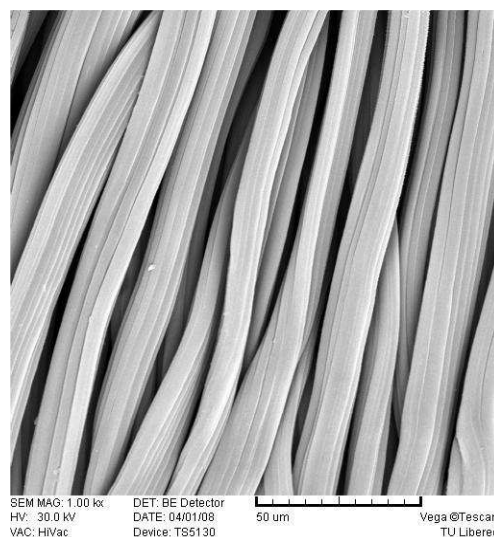
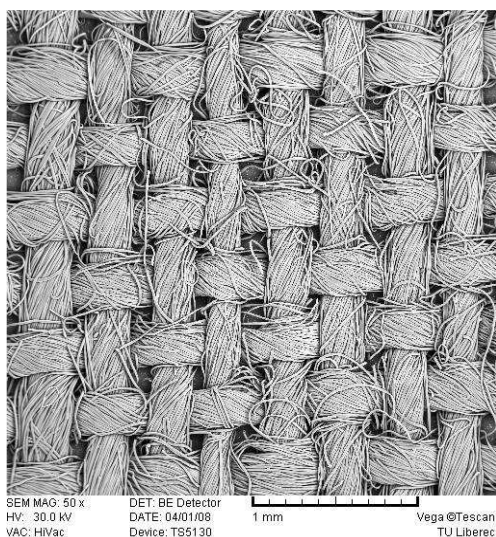
Tabuľka 4.5: Technické parametre

Materiál		Menovitá hodnota
Vláknenný materiál		viskózová striž B typu
Jemnosť priadze	osnova	25 tex
	útok	25 tex
Zákruty priadze	osnova	Z 660
	útok	Z 660

Tabuľka 4.6: Sprievodná tkanina musí vyhovovať nasledujúcim požiadavkám

Znak		Hodnota znaku
Väzba		plátnová
Plošná hmotnosť [g.m ⁻²]		min. 120
Dostava [cm ⁻¹]	osnova	29 nití ± 2%
	útok	24 nití ± 2%
Belosť [%]		min 70
pH výluhu upravenej tkaniny		7 ± 0,5
Schopnosť zapúšťania		diferencia oproti referenčnej tkanine odpovedajúca maximálne stupňu 4 až 5 podľa šedej stupnice pre hodnotenie zmeny odtieňa

Výrobca: PERLA n.p., Česká Třebová
Podľa normy ČSN 80 0107 [22]



Obr. 4.3 Viskózová tkanina, vláknenný materiál

4.2.4 Sprievodná tkanina z polyamidového hodvábu

- táto tkanina je používaná k skúšaniam stálofarebnosti textílií. Norma stanovuje výrobu tkaniny.

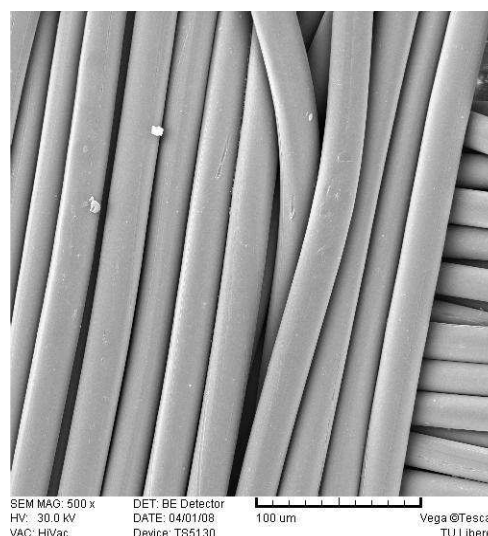
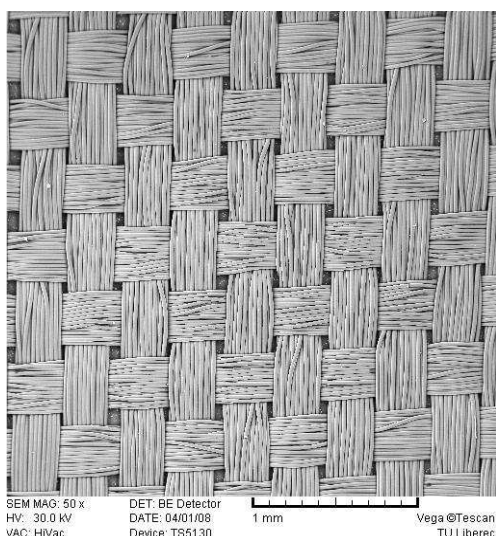
Tabuľka 4.7: Technické parametre

Materiál		Menovitá hodnota
Vláknenný materiál (osn.)		polyamidový hodváb matovaný (typ 6)
Jemnosť priadze	osnova	67 dtex f 12
	útok	133 dtex f 32
Zákruty priadze	osnova	t0
	útok	Z 130

Tabuľka 4.8: Sprievodná tkanina musí vyhovovať nasledujúcim požiadavkám

Znak		Hodnota znaku
Väzba		plátňová
Plošná hmotnosť [g.m ⁻²]		81 ± 5 %
Dostava [cm ⁻¹]	osnova	63 nití ± 2%
	útok	27 nití ± 3%
Belosť [%]		min 75 %
pH výluhu upravenej tkaniny		7 ± 0,5
obsah matovacích prostriedkov		0,5 ± 0,1
Schopnosť zapúšťania		diferencia oproti referenčnej tkanine odpovedajúca maximálne stupňu 4 až 5 podľa šedej stupnice pre hodnotenie zmeny odtieňa

Výrobca: Hedva s.p., Moravská Třebová
Podľa normy ČSN 80 0117 [24]



Obr. 4.4 Polyamidová tkanina, vláknenný materiál

4.2.5 Sprievodná tkanina z polyesterovej striže

- táto tkanina je používaná k skúšaniam stálofarebnosti textílií. Norma stanovuje výrobu a značenie tkaniny.

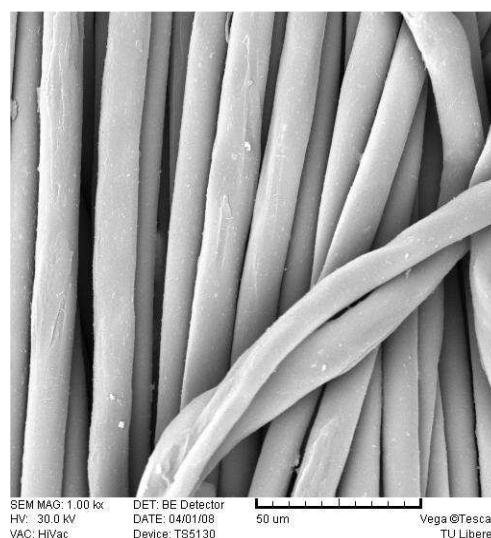
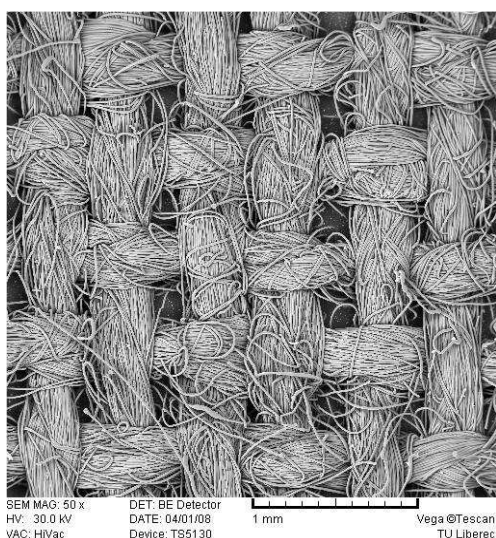
Tabuľka 4.9: Technické parametre

Materiál		Menovitá hodnota
Vláknenný materiál (osn.)		polyesterová striž B typu
Jemnosť priadze	osnova	20 tex x 2
	útok	20 tex x 2
Zákruty priadze	osnova	Z 800 jednoduchá
	útok	Z 800 jednoduchá

Tabuľka 4.10: Sprievodná tkanina musí vyhovovať nasledujúcim požiadavkám

Znak		Hodnota znaku
Väzba		plátňová
Plošná hmotnosť [g.m ⁻²]		165 ± 5
Dostava [cm ⁻¹]	osnova	21 nití ± 2%
	útok	18 nití ± 2%
Belosť [%]		min 70
pH výluhu upravenej tkaniny		7 ± 0,5
Schopnosť zapúšťania		diferencia oproti referenčnej tkanine odpovedajúca maximálne stupňu 4 až 5 podľa šedej stupnice pre hodnotenie zmeny odtieňa

Podľa normy ČSN 80 0101 [23]



Obr. 4.5 Polyesterová tkanina, vláknenný materiál

4.2.6 Sprievodná tkanina z polypropylénovej striže

- táto tkanina je používaná k skúšaniam stálofarebnosti textílií. Norma stanovuje technické parametre a zapúšťacie vlastnosti.

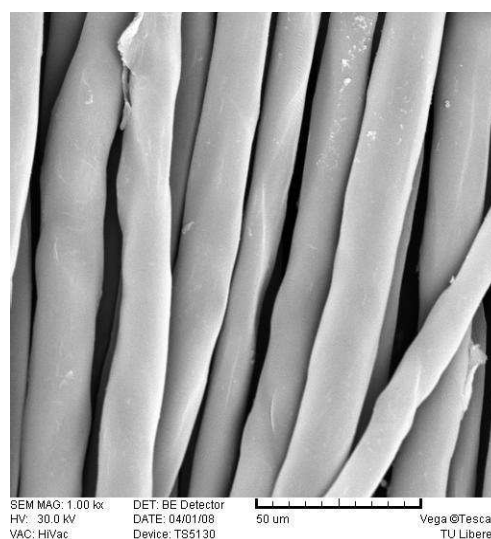
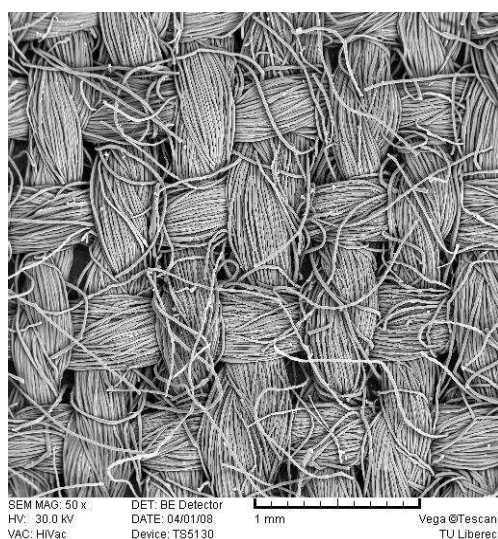
Tabuľka 4.11: Technické parametre

Materiál		Menovitá hodnota
Vláknenný materiál	osnova	polypropylénová striž B typu*)
	útok	polypropylénová striž B typu*)
Jemnosť priadze	osnova	15 tex x 2
	útok	15 tex x 2
Zákruty priadze	osnova	Z 700 S 700
	útok	Z 700 S 700
* nemodifikovaný polypropylén		

Tabuľka 4.12: Sprievodná tkanina musí vyhovovať nasledujúcim požiadavkám

Znak		Hodnota znaku
Väzba		plátňová
Plošná hmotnosť [g.m ⁻²]		125 nití ± 5
Dostava [10 cm ⁻¹]	osnova	225 nití ± 6
	útok	150 nití ± 4
Belosť [%]		min 75 %
pH výluhu upravenej tkaniny		7 ± 0,5
Farebné afinita		diferencia max. 1,5 jednotiek proti štandardnému vzorku

Výrobca: ÚZCHV, Česká Třebová
Podľa normy ČSN 80 0109 [25]



Obr. 4.6 Polypropylénová tkanina, vláknenný materiál

4.3 Príprava vzoriek

Vzorky jednotlivých tkanín o veľkosti 11,5 x 14,5 cm boli zmočené teplou vodou s teplotou 53°C. Každá zo vzoriek bola zmočená jednotlivo, aby boli dodržané približne rovnaké podmienky zmočenia u všetkých vzoriek. Každý z experimentov bol prevedený so vzorkou s maximálnou hodnotou mokrého prívažku a na suchom, nezmočenom materiáli. Ostatné hodnoty mokrého prívažku boli dosahované odmačkávaním na laboratórnom fulári medzi filtračnými papiermi, prípadne dosušovaním na vzduchu. Vzorky boli zmočené, odmačknuté, zvážené a po stanovení vzdušnej vlhkosti na vzorkách bol stanovený celkový obsah vlhkosti na textíliách.

Obsah vlhkosti jednotlivých vzoriek bol stanovovaný voči absolútne suchému materiálu. Počas každého experimentu súbežne prebiehalo sušenie vzoriek všetkých materiálov v sušiarňi do konštantnej hmotnosti. Následným vážením bol stanovený úbytok hmotnosti, ktorý predstavoval stratu vzdušnej vlhkosti. Váženie bolo uskutočňované približne každých 30 minút, až pokiaľ rozdiel medzi jednotlivými váženiami nebol menší, než 1% z hmotnosti vzduchosuhej vzorky.

4.4 Experiment I - sušiace krivky

4.4.1 Teoretický úvod

Pri sušení infračervenými lúčmi je v podstate vlhký sušený materiál vystavený žiareniu, ktorým sa zahrieva. Určitá časť vyžiarenej energie je absorbovaná v sušenej látke a mení sa na teplo (infračervené žiarenie je forma elektromagnetického vlnenia, ktoré sa pri prechode ožarovanou hmotou absorbuje za vzniku tepla). K takémuto zahrievaniu dochádza pri akomkoľvek žiarení (viditeľnom, ultrafialovom, infračervenom).

Ohrev infračervenými lúčmi je teda ohrev sálavým teplom na rozdiel od ohrevu kondukciou alebo konvekciou pri sušení horúcim vzduchom. Energetická účinnosť a rýchlosť zahrievania, ale i akosť materiálu po zahrievaní závisí na množstve pohltenej energie, na hĺbke, v ktorej dochádza k absorpcii a na chemickom účinku lúčov, ktorý sám závisí na druhu žiarenia.

Žiarenie vzniká prechodom elektrónov z dráh vzdialenejších od jadra atómu na dráhy bližšie. Energie odpovedajúce rozdielu oboch hladín je vyžarovaná v kvantách. K využitiu žiarenia pre účely ohrevu je nutné, aby kmitočet žiarenia bol rovnaký ako

vlastný kmitočet ožarovanej hmoty, to je aby mohlo dôjsť k rezonancii, ktorú nazývame "hmotová rezonancia".

Maximálna pohltivosť textilných materiálov sa pohybuje v rozmedzí 2,5 až 14 μm . Elektromagnetické žiarenie, ktoré najlepšie vyhovuje uvedenému absorpčnému pásmu je z pásma tzv. infračervených vlnových dĺžok, ktoré sa už blížia svojou vlnovou dĺžkou k viditeľnému žiareniu. Frekvencia tepelného žiarenia leží pod frekvenciami najpomalších kmitov viditeľného svetla, ktoré ľudské oko vníma ako červené, jeho vlnové dĺžky sú však dlhšie - cca 800 nm až 1 mm.

K posúdeniu účinku infračerveného žiarenia na ohrev textilných vlákien je nutné poznať ako absorpčné spektrum ožarovovaných materiálov, tak i emisné spektrum použitého žiariča.

Ožarovaná hmota absorbuje iba časť emitovaného žiarenia, zvyšok sa odráža alebo prestupuje hmotou. Absorpčné spektrum každého materiálu je rôzne, má množstvo maxím absorpcií i maxím priepustností v závislosti na chemickej konštitúcii ožarovanej hmoty.

Absorpčné spektrá textilných vlákien sú dnes bežne známe a dajú sa laboratórne zistiť pomocou IR spektrofotometra. Rovnako je známe, v ktorých vlnových dĺžkach sú maximá pohltivosti niektorých chemických skupín.

Podľa toho, ktoré skupiny je potrebné najrýchlejšie a najúčinnnejšie ohriať, či už pri sušení, alebo fixácii, je nutné voliť najvhodnejšie emisné spektrum žiariča, ktoré sa maximálne kryje s absorpčným spektrom ohrievanej textílie.

Podľa emisného spektra sa rozlišujú tri druhy žiaričov:

- KV - krátkovlnové s vyžarovacím pásmom v rozmedzí 0,8 až 2,0 μm
- povrchová teplota zdroja je okolo 1000 až 2000 °C. Ich použitie v textilnom priemysle nie je vhodné, lebo vyžarovaná frekvencia sa nekryje s absorpčnými maximami textilných vlákien
- SV - stredovlnové s vyžarovacím pásmom v rozmedzí 1,8 až 4,4 μm
- povrchová teplota zdroja je do 1300 °C a vyrábajú sa najčastejšie ako elektrické odporové keramické alebo kremíkové tyče alebo dosky. Tieto žiariče sa používajú hlavne na ohrev pri termofixácii syntetických vlákien, fixácii farbív, kondenzácii živíc ai.

- DV - dlhovlnové s vyžarovacím pásom 3,0 až 8,0 μm
- povrchová teplota žiariča je okolo 300 až 400 $^{\circ}\text{C}$. Vyrábajú sa ako tyče alebo dosky z ocele. Majú široké pásmo žiarenia, ktoré sa maximálne kryje s absorpčnými spektrami textilných materiálov. Z tohto dôvodu majú univerzálne použitie, hlavne pre sušenie, lebo pre odparovanie vody sa hodí najmä žiarenie vlnovej dĺžky 0,7 až 14 μm .

Účinok žiariča značne závisí na vzdialenosti žiariča od ožarovaneho materiálu, lebo klesá s jej druhou mocninou podľa vzťahu :

$$I_z = \frac{E_s}{D^2}, \quad (29)$$

kde I_z je intenzita žiarenia [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

E_s energia vyžarovaná žiaričom [W]

D vzdialenosť žiariča od ožarovanej látky [m].

Závažným problémom je regulácia teploty ožarovanej látky. V nekonečnom čase, ak by teplo z ožarovanej plochy nebolo odvádzané, by mala látka dosiahnuť až teploty žiariča, čo je v každom prípade teplota vyššia, než odpovedá tepelnej odolnosti textilných materiálov. Ak sa prekročí maximálna prípustná doba, kedy dochádza k prehriatiu materiálu a k tepelnej deštrukcii vlákien. V praxi však k takémuto zvýšenému ohrevu nedochádza z dvoch dôvodov:

- zvyšková vlhkosť vlákien spôsobí *teplotné zdržanie* pri teplote nižšej než 100 $^{\circ}\text{C}$, dokiaľ sa prevažná časť vlhkosti neodparí
- ožiarená látka spätne vyžaruje absorbovanú energiu do chladnejšieho okolia a tým značne spomaľuje ohrev, až pri dosiahnutí určitej teploty textílie môže dôjsť k rovnováhe medzi absorbovanou a vyžarovanou energiou, čím sa ďalší nárast teploty zastaví. [18]

4.4.2 Predpoklad

Zo znalosti sušiacich procesov je známe, že pri bezkontaktnom sušení textilných materiálov dochádza k odparovaniu kvapalnej fázy z povrchu vlákien. Tento jav sa prejaví na sušiackej krivke, ktorá je grafickým vyjadrením závislosti teploty na čase, značným časovým zdržaním. Toto časové zdržanie sa prejaví v čase, keď sa kvapalná fáza začne meniť na plynnú, k čomu je spotrebovávaná dodávaná tepelná energia. Počas

tohto časového zdržania nedochádza k ďalšiemu ohrevu vzoriek, až pokiaľ sa kvapalina z materiálu neodparí.

Cieľom tohto experimentu bolo posúdiť vplyv použitého vlákenného materiálu na priebeh jednotlivých sušiacich kriviek pri rôznom stupni zmočenia.

Keďže k experimentu boli použité textílie z vlákien prírodných, tak i z vlákien syntetických, je zrejmé, že každý vlákenný materiál má iný stupeň navlhavosti a rozdielny spôsob viazania vlhkosti na vlákna.

Viskóзовé vlákna sú vysoko hygroskopické a značne bobtnavé, čo znamená že majú schopnosť viazať značné množstvo vlhkosti priamo v štruktúre vlákna. Oproti tomu polypropylén je vlákno, ktoré maximálne hydrofóbné. Vlna, zástupca prírodných živočíšnych vlákien zo srstí, má zasa tú vlastnosť, že až do 60% obsahu vlhkosti z hmotnosti suchého materiálu, sa materiál na ohmat stále javí ako suchý.

Predpokladom tohto experimentu bolo že, prírodné materiály, ktoré majú vyššiu schopnosť viazať vlhkosť, pojmú do svojej štruktúry väčší objem kvapaliny, čo bude mať za následok dlhšie časové zdržanie.

4.4.3 Použité zariadenia

- analytické váhy s presnosťou merania 0,0001 g, zn. KERN 770
- infračervený teplomer Testo 830-T2
- infračervený tepelný žiarič zn. Vertus
- sušiareň
- stopky

4.4.4 Experiment

U tohto experimentu boli za absolútne suché vzorky považované vzduchosuché materiály, u ktorých bol mokrý prívažok stanovený rovno nula.

Jednotlivé vzorky textílií s vopred definovaným obsahom vlhkosti boli pripevnené vo zvislej polohe na sušiacie zariadenie, asi vo vzdialenosti 10 cm od tepelného zdroja žiariča. Vo vzdialenosti asi 30 cm od vzorky bol do stojana upevnený bezkontaktný infračervený teplomer.

Ihneď po aplikácii vzorku bolo zahájené meranie, aby nedochádzalo k znižovaniu vlhkosti voľným odparovaním, alebo aby nedochádzalo k stekaniu kvapaliny k dolnému okraju vzorky. Po zapnutí tepelného žiariča dochádza k ohrevu materiálu, ktorého

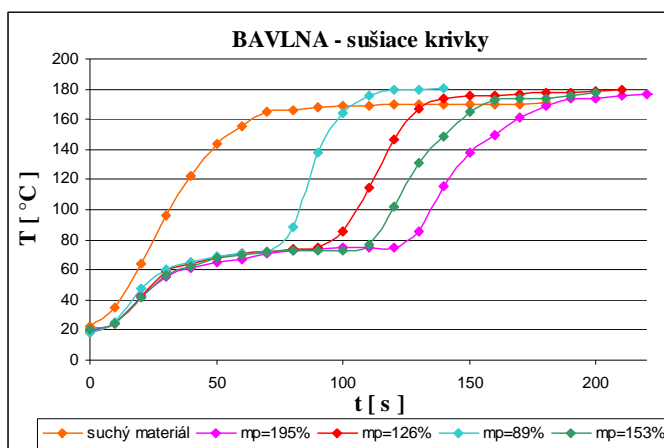
teplota bola v pravidelných 10 sekundových intervaloch zaznamenávaná. Meranie prebiehalo pokiaľ teplota povrchu vzorky s časom narastala. Keď materiál dosiahol teplotu, ktorá sa s časom už výrazne nemenila, meranie bolo ukončené a vyhodnotené.

4.4.5 Výsledok merania

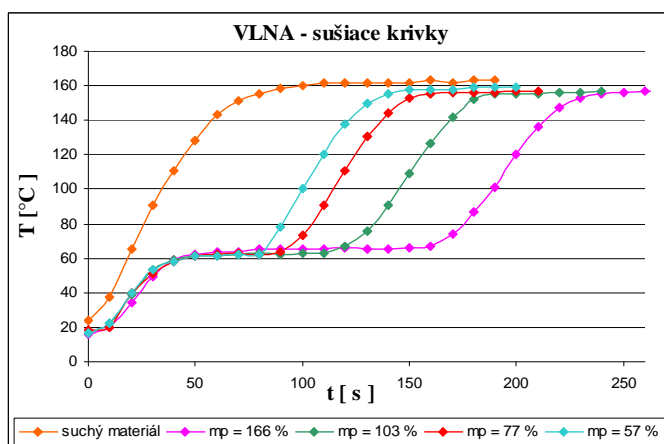
Výsledkom tohto experimentu sú sušiacie krivky všetkých textilných materiálov, ktoré graficky znázorňujú časovú závislosť teploty materiálu s rôznymi mokrémi prívažkami. Hodnota mokrého prívažku bola prepočítaná vzhľadom k vzduchosuchému materiálu, teda u vzduchosuchých vzoriek bol mokrý prívažok rovný nule.

U polypropylénových vzoriek vplyvom teplôt okolo 130 °C dochádzalo k degradácii materiálu.

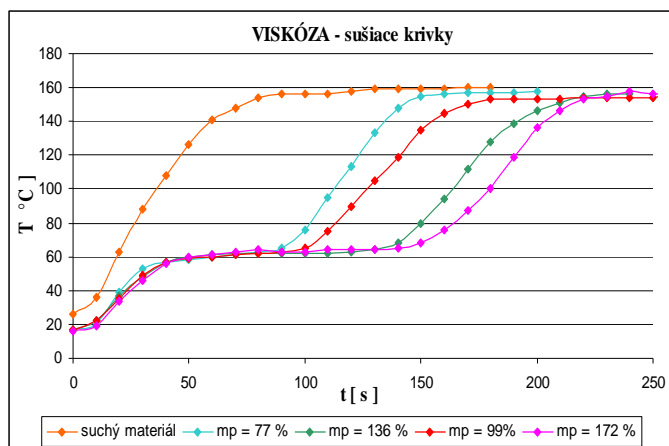
Grafy:



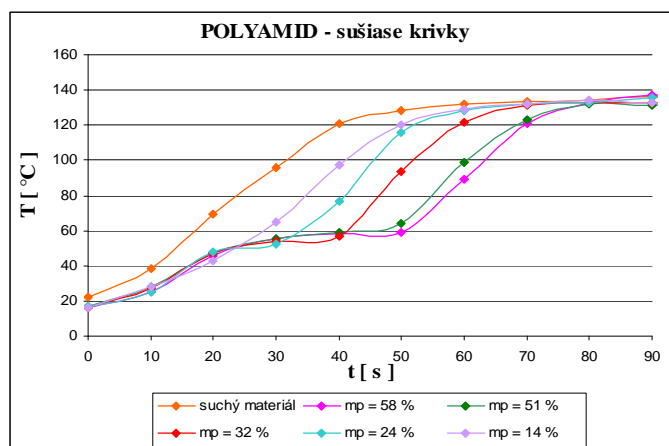
Graf 4.1: Závislosť teploty $[T]$ na čase $[t]$ pri rôznych hodnotách mokrého prívažku, bavlna



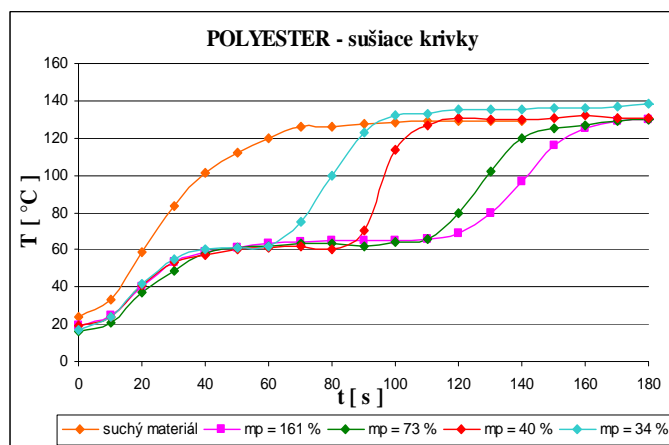
Graf 4.2: Závislosť teploty $[T]$ na čase $[t]$ pri rôznych hodnotách mokrého prívažku, vlna



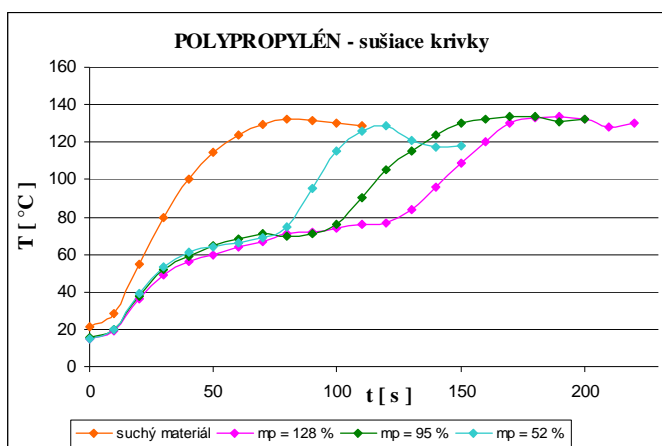
Graf 4.3: Závislosť teploty $[T]$ na čase $[t]$ pri rôznych hodnotách mokrého prívažku, viskóza



Graf 4.4: Závislosť teploty $[T]$ na čase $[t]$ pri rôznych hodnotách mokrého prívažku, polyamid



Graf 4.5: Závislosť teploty $[T]$ na čase $[t]$ pri rôznych hodnotách mokrého prívažku, polyester



Graf 4.6: Závislosť teploty $[T]$ na čase $[t]$ pri rôznych hodnotách mokrého prívažku, polypropylén

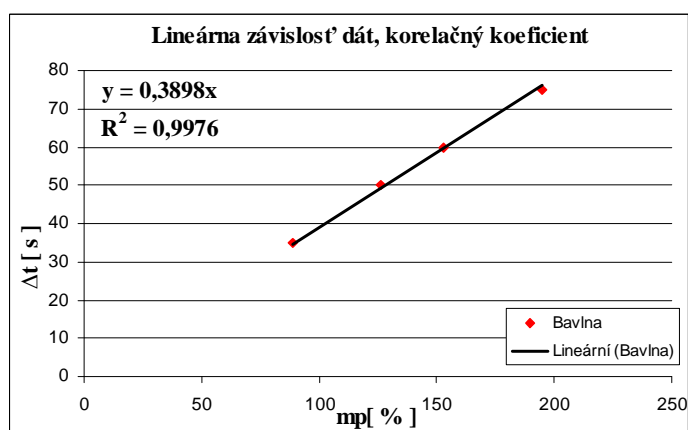
4.4.6 Vyhodnotenie

Pri suchých materiáloch krivka ukazuje, že teplota v čase narastá takmer lineárne až do teploty, kedy teplota vzorky dosiahne maximum, kde sa teplota ustáli na konštantnej teplote. Pri vlhkých materiáloch je taktiež z počiatku viditeľný lineárny nárast teploty povrchu vzorky. Teplota narastá do teploty 60 - 70 °C, kde sa teplota na určitý čas ustáli. Tu dochádza k odparovaniu kvapaliny, teda sušeniu, kedy sa dodávané teplo spotrebováva na premenu kvapalnej fázy na plynnú. Tomuto dočasnému "ustáleniu" teploty hovoríme časové zdržanie. Teploty ustálenia sa u jednotlivých materiálov odlišujú. Po odstránení všetkej vlhkosti z textílie sa teplota vzorku začne opäť zvyšovať.

Predpoklad, ktorý bol vyslovený vyššie bol naplnený v tom zmysle, že pri sušení vlhkých vzoriek bolo zaznamenaná určité časové zdržanie, ktoré sa so zvyšovaním vlhkosti na textílií zväčšuje. Hodnoty Δt vykazujú v závislosti na mokrom prívažku lineárnu závislosť.

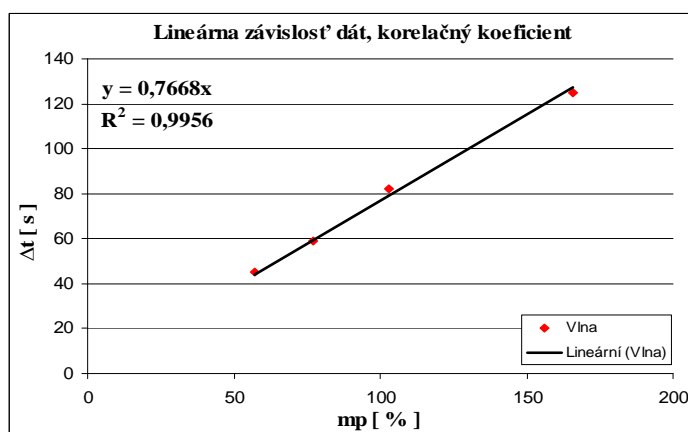
Uskutočnený experiment nie je možné adekvátne vyhodnotiť a výsledky jednotlivých materiálov navzájom porovnať, nakoľko textilné vzorky nemajú rovnaké parametre. Týmto sú myslené najmä štrukturálne parametre tkaniny ako jemnosť priadzi, dostava a plošná hmotnosť. Vzhľadom k vyššie uvedeným faktom nie je možné hodnoty časového zdržania Δt jednotlivých materiálov vzájomne porovnať, vyhodnotiť a vyjadriť vzájomnú závislosť.

mp[%]	195	153	126	89
Δt [s]	75	60	50	35



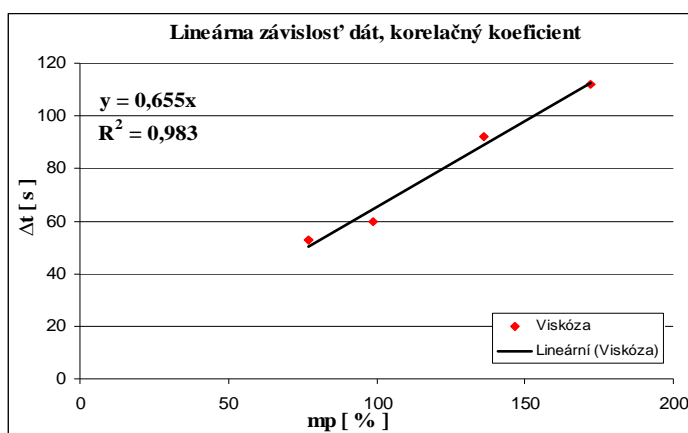
Graf 4.7: Grafické vyjadrenie závislosti časového zdržania Δt na hodnote mokrého prívažku, bavlna

mp[%]	166	103	77	57
Δt [s]	125	82	59	45



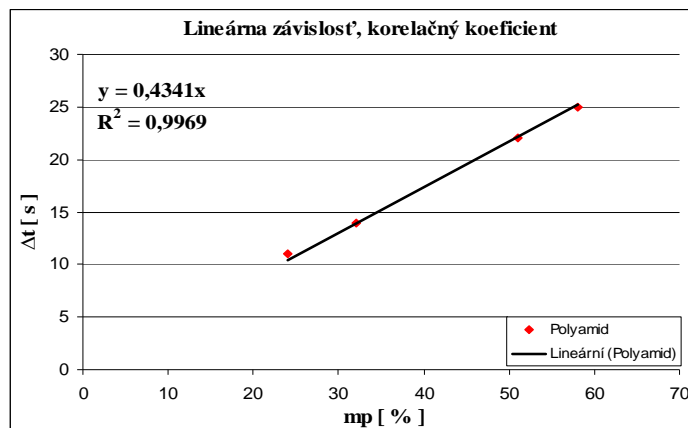
Graf 4.8: Grafické vyjadrenie závislosti časového zdržania Δt na hodnote mokrého prívažku, vlna

mp[%]	172	136	99	77
Δt [s]	112	92	60	53



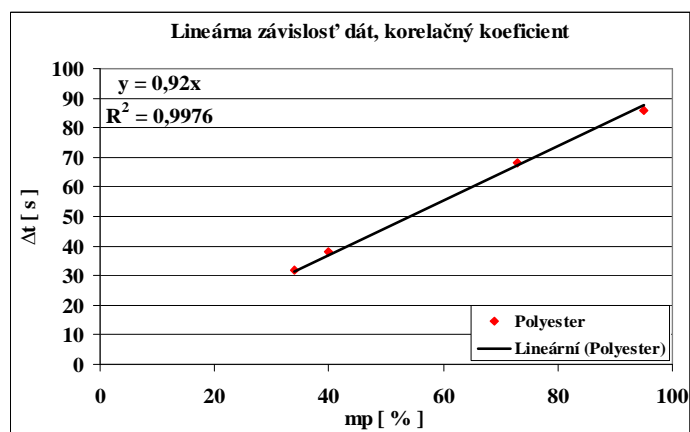
Graf 4.9: Grafické vyjadrenie závislosti časového zdržania Δt na hodnote mokrého prívažku, viskóza

mp[%]	58	51	32	24
Δt [s]	25	22	14	11



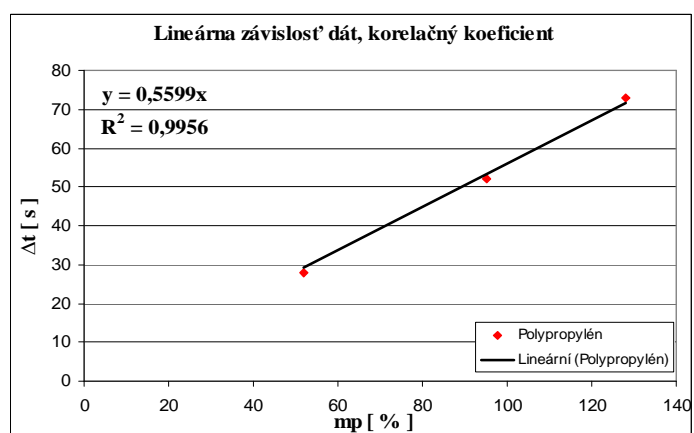
Graf 4.10: Grafické vyjadrenie závislosti časového zdržania Δt na hodnote mokrého prívažku, polyamid

mp[%]	95	73	40	34
Δt [s]	86	68	38	32



Graf 4.11: Grafické vyjadrenie závislosti časového zdržania Δt na hodnote mokrého prívažku, polyester

mp	128	95	52
Δt [s]	73	52	28



Graf 4.12: Grafické vyjadrenie závislosti časového zdržania Δt na hodnote mokrého prívažku, polypropylén

4.5 Experiment II- filtračná schopnosť

4.5.1 Teoretický úvod

4.5.1.1 Názvoslovie

filtrácia - proces oddeľovania dispergovanej fázy alebo disperzného podielu z disperzie

disperzia: plynná, kvapalná

disperzný podiel: pevný, kvapalný [27]

filter - je zariadenie v ktorom sa prímеси vzduchu zachytávajú na filtračnej vrstve alebo v nej, pri prechode vzduchu touto cestou

filtračná vložka - je funkčný diel filtru s rôznym usporiadaním filtračného materiálu, tvoriaci samostatný, ďalej nedeliteľný celok

skúšobný prach - je umelý prach s určitým granulometrickým a chemickým zložením

koncentrácia prachu C vo vzduchu - hmotnosť prachu obsiahnutého v objemovej jednotke vzduchu a udáva sa v mg.m^{-3} [26]

4.5.1.2 Druhy filtrácie

I. - kvapalinová

- plynná

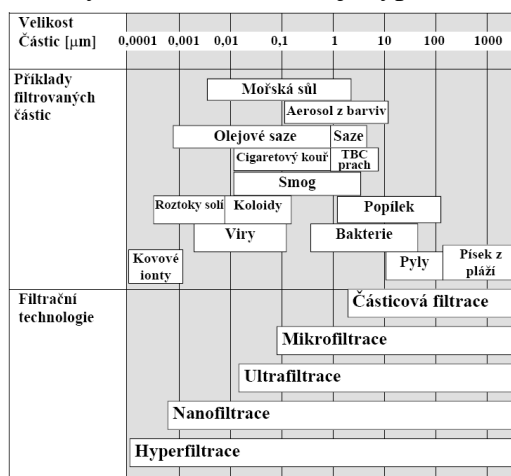
II. Podľa požiadaviek kladených na filter sa určuje typ filtru i metóda merania.

- makrofiltrácia

- mikrofiltrácia

- ultrafiltrácia

- hyperfiltrácia



Obr. 4.7 Velikost filtrovaných částic[27]

III. Povrchová: Veľkosť zachytených častíc závisí na veľkosti pórov

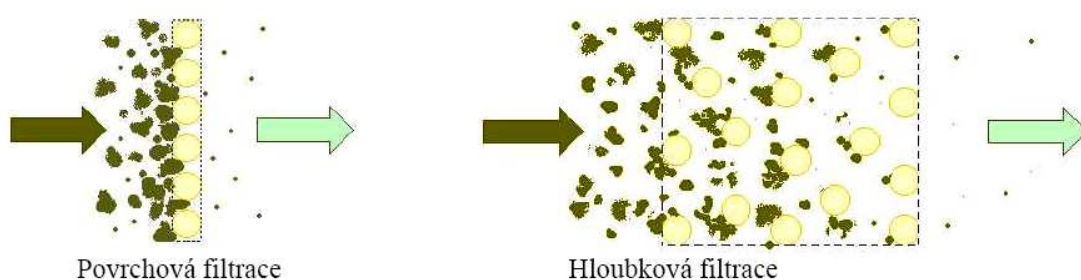
Hĺbková: Častice rôznych veľkostí sa zachytávajú vo vnútri filtra. Veľkosť zachytených častíc môže byť i rádovo menšia než medzivlákené vzdialenosti.

Mechanizmy: priamy záchyt

zotrvačné usádzanie

Brownov pohyb

elektrostatické usádzanie



Obr. 4.8 Povrchová a hĺbková filtrácia [27]

4.5.1.3 Hlavné filtračné vlastnosti

- *Efektivita* (odlúčivosť) :

$$E_F = 1 - \left(\frac{G_1}{G_2} \right) \quad (\%) \quad (30)$$

- *Prienik*

$$P_F = \frac{G_1}{G_2} \quad , \quad (31)$$

kde:

G₁..... množstvo disperzného podielu za filtrom [g]

G₂..... celkové množstvo disperzného podielu (niekedy sa uvádza množstvo disperzného podielu pred filtrom [g])

V niektorých prípadoch sa efektivita zisťuje nepriamo.

- *Tlakový spád*

$$\Delta p = p_1 - p_2 \text{ [Pa]}, \quad (32)$$

kde:

p_1 tlak pred filtrom [Pa]

p_2 tlak za filtrom [Pa]

- *Životnosť filtra* - určuje čas, kedy je potrebné filter vymeniť
 - pre jednorazové filtre je daná množstvom prachu, ktorý je schopný pojať do chvíle, kedy je tlaková strata príliš vysoká.
 - pre filtre s čistením je daná intervalmi medzi čistením a ich počtom
- *Jímavosť* - množstvo prachu, ktoré je filter na jednotke svojej plochy schopný zachytiť do okamihu, kedy sa tlakový spád zvýši z počiatočného stavu na predpísanú hodnotu pri nominálnom prietoku prachovzdušnej zmesi.

$$J = \frac{E_c - G_c}{100} \text{ [g]} \quad (33)$$

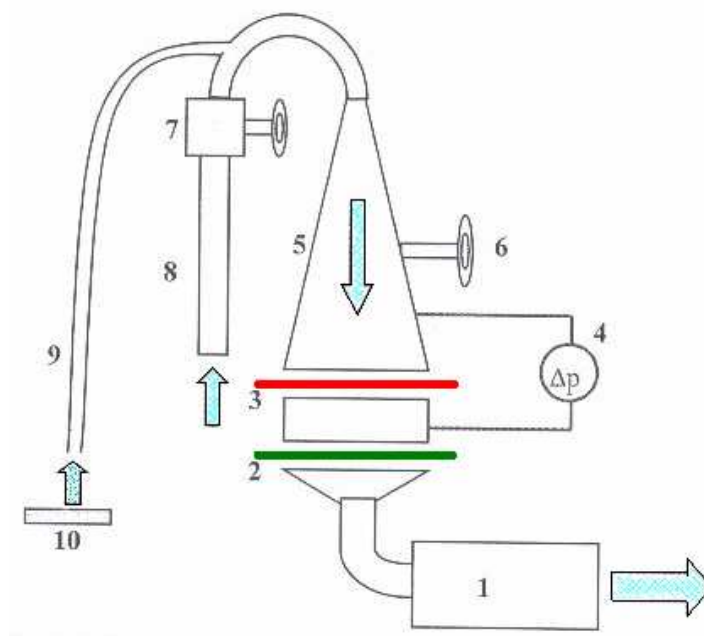
E_c stredná efektivita [%]

G_c celkové množstvo pevného disperzného podielu podaného počas n meraní [g]

- *Odolnosť voči vonkajším vplyvom* – vplyvy:
 - chemické
 - mechanické
 - teplotné
 - kombinované
- *Ďalšie vlastnosti súvisiace s filtráciou:*
 - *priedušnosť*: koľko tekutiny prejde skrz 1 m² filtru za 1 minútu pri definovanom tlakovom spáde (zvyčajne 196 Pa), jednotky: (l/m²/min)
 - *pórovitosť*: veľkosť póru určená zvyčajne strednou, či maximálnou hodnotou, alebo distribúciou veľkostí

4.5.1.4 Meracie zariadenie

Prístroj je navrhnutý tak, aby meranie čo najviac zodpovedalo EN a ASHRAE



Obr. 4.9 Schéma meracieho zariadenia Dust Filter Tester DFT-3

Legenda:

1. odsávacie zariadenie
2. "absolútny filter" triedy F6
3. testovaný filter
4. meradlo tlakového spádu
5. miešacia cesta
6. posun miešacej trate
7. regulácia rýchlosti filtrácie
8. meranie rýchlosti filtrácie
9. nasávacia trubica na prach
10. podložná dosťička na prach



... smer prúdenia vzduchu [27]

4.5.1.5 Princíp merania

Testovaným filtrom prechádza zmes vzduchu a testovacieho prachu. Častice prachu, ktoré preniknú testovaným filtrom sú zachytené "filtrom absolútnym". Meria sa tlakový spád a odlúčivosť filtra, ktorá je zisťovaná gravimetricky, zvážením prachu,

ktorý prenikol testovaným filtrom a prachu nepreniknutého. Meranie prebieha za definovanej náletovej rýchlosti prachu v rozsahu od 0,6 do 1,5 m/sec, za koncentrácie prachu (cca. 120 mg/m³) a plochy filtra (0,01767 m²). Na jednej vzorke sa jednotlivé merania opakujú až do dosiahnutia tlakovej straty 250 Pa pre filtre tried G a 400 Pa pre filtre triedy F. Z nameraných hodnôt odlúčivosti sa počíta priemer. [27]

Prístroj DFT bol navrhnutý a skonštruovaný kolektívom Katedry netkaných textílií, pričom od štandardizovaných prístrojov sa líšia predovšetkým menšou plochou testovanej vzorky. Je určený hlavne pre testovanie filtrov s nižšou a strednou odlúčivosťou.

Použitý "absolútny" filter: trieda F6, jemný filter s počiatočnou odlúčivosťou atmosferického prachu $E_A \geq 20\%$

- stredná odlúčivosť na atmosferický prach $E_m (\%) : 60 \leq E_m \leq 80$ [28]

Použitý syntetický prach: spongelit (sklársky tripol D)

Polydisperzný syntetický prach odpovedá norme ISO 12103-1, veľkosť častíc od 0,3 do 80 µm. Chemické zloženie: 56-75 % SiO₂

1-3 % Al₂O₃

1-3 % Fe₂O₃

5-10 % CaO

4.5.2 Predpoklad

Predpoklad k tomuto experimentu vychádzal z predstavy chovania vlákenných materiálov vo vlhkom prostredí. Prírodné materiály ako bavlna a viskóza sú vlákna vysoko hygroskopické, teda vplyvom vlhkosti bobtnajú, čo môže spôsobovať zmenšovanie medzivlákenných priestorov a pórov tkaniny. Ďalej možno predpokladať, že filtračné javy závisia na parametroch tkaniny ako plošná hmotnosť, zaplnenie či dostava. Filtrácia spočíva v zachytávaní lietajúcich prachových častíc na vláknach v celom objeme textílie. Tento fakt by mala podporiť prítomnosť vlhkosti na vláknach, ktorá by mala spôsobiť i viacvrstvé ulpievanie prachu v štruktúre či na povrchu tkaniny.

4.5.3 Použité zariadenia

- analytické váhy s presnosťou merania 0,0001, zn. KERN 770
- sušiareň
- zariadenie Dust Filter Tester DFT-3

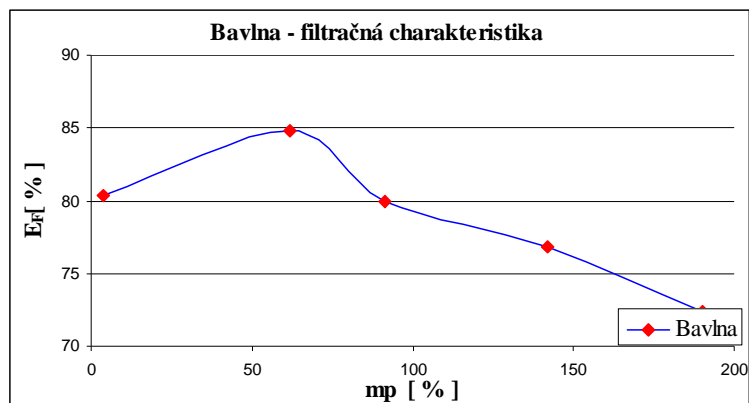
4.5.4 Experiment

Príprava vzoriek prebiehala v laboratóriu KTC, následne však samotné meranie filtračných vlastností bolo prevedené v laboratóriu KNT. Vzorky boli zmočené, zvážené a uzatvorené v igelitových vreckách, aby nedochádzalo k úniku a zmene zaznamenatej vlhkosti. Suché i mokré vzorky textilných materiálov i "absolútny" filter boli vážené s presnosťou na 0,0001 g.

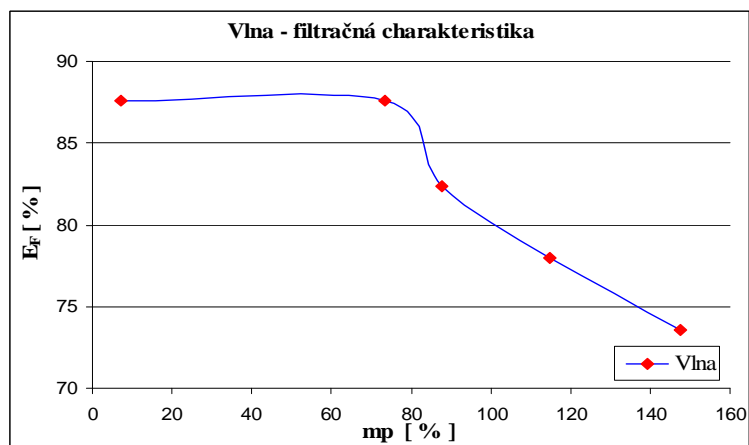
Pre jedno meranie boli navážené 2 g syntetického prachu Spongelit na podkladovom plexiskle. Prietok vzduchu v zariadení bez vlozenej vzorky bol 3000 l/hod. U všetkých suchých vzoriek bol prietok vzduchu 2500 l/hod. Tlakový spád bol nemerateľný, lebo sa neustále menil v priebehu merania v dôsledku "odlietavania" kvapaliny a sušenia vzoriek. Keďže v dôsledku prefukovania dochádzalo k vysušovaniu vzoriek, predpokladalo sa zachytávanie tejto vlhkosti na "absolútnom" filtri. Po ukončení merania bol filter sušený do konštantnej hmotnosti. Vážením absolútneho filtra bolo zistené množstvo syntetického prachu, ktoré preniklo cez testovaný filter, teda cez vzorku textílie. Obsah testovanej plochy bol upravený kvôli nedostatočnej veľkosti vzoriek. Úprava bola prevedená vložením fólie s otvorom o priemere 6,8 cm. Testovaná plocha teda predstavovala 0,00363 m². Pre každú skúšanú vzorku bol použitý nový "absolútny" filter.

Zapnutím prístroja sa spustil motor odsávacieho zariadenia. Navážený prach bol dávkovaný rovnomerne, po dobu asi 5 s. Čas úmyselne skrátený oproti predpisu, aby sa predišlo usychaniu materiálu prefukovaním. Po spotrebovaní naváženého prachu bolo zariadenie vypnuté. Vzorky materiálu a absolútneho filtra boli opatrne vybraté, sušené do konštantnej hmotnosti a zvážené. Z hodnôt získaných vážením boli vypočítané hodnoty efektivity a vynesené do grafu v závislosti na mokrom prívažku jednotlivých materiálov. Hodnota efektivity E_F [%] vyjadruje filtračnú schopnosť textílie.

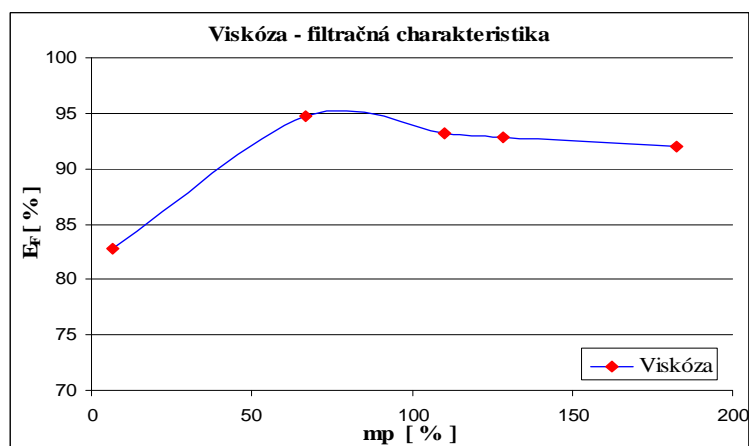
4.5.5 Výsledok merania



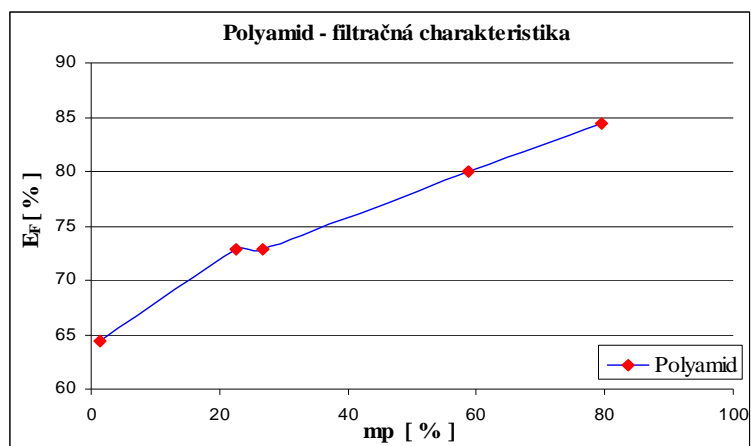
Graf 4.13: Závislosť efektivity filtrácie [E_F] na hodnote mokrého prívažku [mp], bavlna



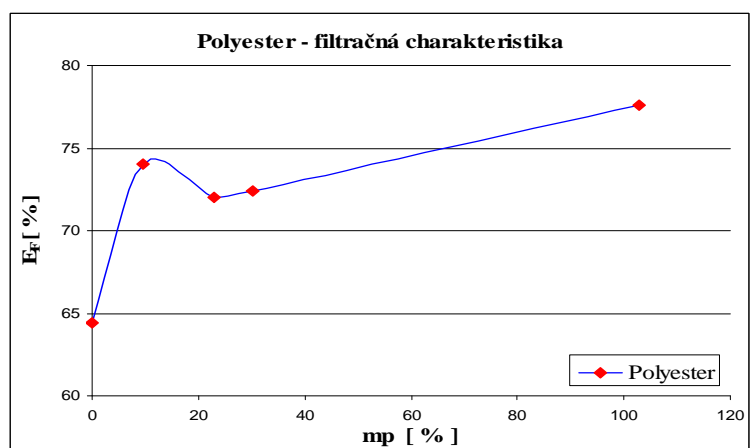
Graf 4.14: Závislosť efektivity filtrácie [E_F] na hodnote mokrého prívažku [mp], vlna



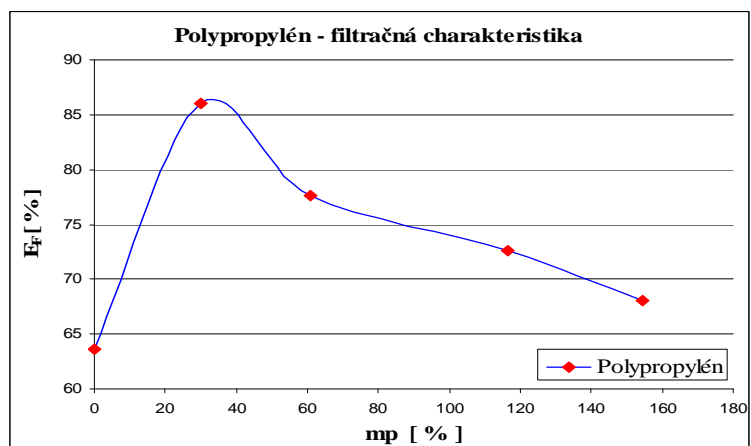
Graf 4.15: Závislosť efektivity filtrácie [E_F] na hodnote mokrého prívažku [mp], viskóza



Graf 4.16: Závislosť efektivity filtrácie [E_F] na hodnote mokrého prívažku [mp], polyamid



Graf 4.17: Závislosť efektivity filtrácie [E_F] na hodnote mokrého prívažku [mp], polyester



Graf 4.18: Závislosť efektivity filtrácie [E_F] na hodnote mokrého prívažku [mp], polypropylén

4.5.6 Vyhodnotenie

Z graficky znázornených výsledkov experimentu je vidieť, že vyššie uvedený predpoklad bol čiastočne správny. Filtračná schopnosť suchých vzoriek je nižšia ako u mokrých vzoriek. Pri nízkych hodnotách mokrého prívažku bola zaznamenaná zvýšená filtračná schopnosť textílií, čo možno vysvetliť uľpievaním prachových častíc na vlhkých vláknach. U bavlnených a vlnených vzoriek je viditeľný nárast efektivity, no pri vyšších hodnotách mokrých prívažkov dochádza k výraznému poklesu hodnoty efektivity. Možno predpokladať, že k tomuto efektu došlo v dôsledku odlietavania kvapôčok vody z textílie prefukovaním, ktoré so sebou unášali i obsiahnuté prachové častice. K podobnému poklesu efektivity pri zvýšenom obsahu vlhkosti došlo i u viskózy a polypropylénu. U viskózy nie je pokles efektivity príliš výrazný, čo je možné vysvetliť vysokou hygroskopicitou vlákien, ktorá zároveň spôsobuje bobtnanie vlákien. V dôsledku bobtnania vlákien dôjde k zaplneniu štruktúry tkaniny. Nanesená kvapalina difundovala do vlákien, spôsobila ich bobtnanie a teda nedochádzalo k jej výraznému odlietavaniu.

U polyesterových a polyamidových vzoriek dochádza k nepatrnému narastaniu efektivity, no maximálna hodnota dosiahnutého mokrého prívažku je v porovnaní s ostatnými vzorkami približne polovičná.

4.6 Experiment III- hodnotenie priepustnosti textílií pre vzduch

Priepustnosť pre vzduch (priedušnosť) spolu s ostatnými vlastnosťami ako priepustnosť vodných pár, tepelno-izolačné vlastnosti, priepustnosť kvapalnej vody (transport vody) patrí medzi komfortné (fyziologické) vlastnosti, ktoré umožňujú regulovať odevnú mikroklimu, ktorá podmieňuje subjektívne pocity človeka.

4.6.1 Priedušnosť textílií

Priedušnosť je jednou z najdôležitejších úžitkových vlastností plošných textílií. Pri textíliách pre odevné účely ovplyvňuje príjemnosť odevu na pokožke, pri technických textíliách je priedušnosť žiadaná podľa účelu použitia, napr. pri filtračných textíliách je jedným z najdôležitejších faktorov. K prestupu vzduchu plošnou textíliou dôjde vtedy, ak je na oboch stranách rozdielny barometrický tlak a ak nemá textília nulovú hodnotu porozity. Porozita je teda štrukturálnym ekvivalentom priedušnosti.

Priedušnosť je prienik média cez vrstvu textílie. Prestupy sú všeobecne realizované v oboch smeroch, ale väčšinou prevažuje smer od organizmu do okolitého prostredia.

Vo fyziológii odievania má význam predovšetkým prienik vlhkosti, tepla a vody. Je tomu tak preto, že súbor textilných vrstiev, tvoriaci odev človeka, napomáha k jeho termoregulačnej činnosti.[29]

V súčasnej dobe je metóda meranie priedušnosti popísaná normou ČSN EN ISO 9237, v ktorej je priedušnosť definovaná ako rýchlosť prúdu vzduchu prechádzajúceho kolmo plochou skúšanej vzorky pri stanovenom tlakovom spáde a dobe. Tento postup sa deje na princípe rozdielu barometrických tlakov na oboch stranách textílie.

Pre výpočet priedušnosti P je možné použiť tento vzťah:

$$P = \frac{q_v}{A} \cdot 167, \quad (34)$$

kde:

P je priedušnosť tkaniny [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

q_v priemerná rýchlosť prietoku vzduchu [$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]

A skúšaná plocha textílie [cm^2]

167 prepočítavací faktor z [$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$] / [cm^2] na [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

4.6.2 Faktory ovplyvňujúce priedušnosť textílií

- štruktúra vlákna
- štruktúra priadze
- štruktúra textílie
- finálna úprava
- vrstvenie textílií

Cieľom tohto experimentu bude zistiť mieru vplyvu vlhkosti na priedušnosť textílií

4.6.2.1 Štruktúra priadze

Podľa ČSN 80 0001 je priadza definovaná ako dĺžková textília zložená zo spriadateľných vlákien, spevnená zákrutom alebo spojením tak, že pri pretrhnutí priadze dochádza i k pretrhnutiu jednotlivých vlákien. Vzhľadom k svojim vlastnostiam a štruktúre je priadza najčastejšia dĺžková textília používaná na výrobu plošných textílií - tkanín a pletenín.

Parametre priadze: - jemnosť priadze

- priemer priadze
- zákrut priadze
- zaplnenie priadze

4.6.2.2 Štruktúra tkaniny

Každú tkaninu je možné popísať súborom mnohých rôznych vlastností a charakteristík. Konštrukcia tkaniny je definovaná väzbou, materiálom, dostavou a jemnosťou použitých priadzí. Toto sú údaje popisujúce plošnú geometriu tkaniny.

Okrem plošnej geometrie textílie je veľmi dôležitá i priestorová geometria tkaniny. Je ovplyvnená typom a nastavením tkacieho stroja. Jej hlavným parametrom, môže byť zvlnenie osnovy a útku vo väznom bode.

Namiesto geometrie sa často hovorí o štruktúre tkaniny. Práve na nej závisia parametre nárokov jej užívateľa a údaje pre samotnú výrobu textílie. [30]

4.6.2.2.1 Veličiny popisujúce parametre tkaniny

Základom štúdie plošnej štruktúry tkaniny je väzná bunka tkaniny v pôdorysovom pohľade. Východnou predstavou plošnej geometrie je model tkaniny, v ktorom sú všetky väzné body v jednej rovine. V skutočnej tkanine tento predpoklad neplatí.

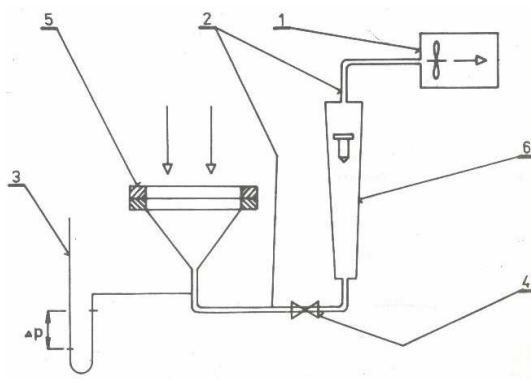
Určujúce parametre tkaniny: - setkanie tkaniny

- dostava tkaniny
- plošná hmotnosť
- väzba tkaniny
- charakteristiky zakrytia tkaniny
- porozita

4.6.3 Všeobecný princíp merania priedušnosti

Meranie priedušnosti je založené na určení rýchlosti prúdu vzduchu prechádzajúceho kolmo určitou plochou plošnej textílie, pri stanovenom tlakovom spáde.

Meranie priedušnosti sa realizuje na prístroji, ktorý zaistí tlakový rozdiel - tlakový spád.



Obr. 4.10 Schématické zobrazenie prístroja k meraniu priedušnosti [31]

Jeho základom je vzduchové čerpadlo (1), ktoré potrubím (2) nasáva vzduch. Tým sa vytvorí tlakový rozdiel Δp merateľný manometrom (3), ktorým nasávaný vzduch prechádza. Meraná hodnota je v určitých medziach a jej presné nastavenie sa prevádza regulačným ventilom (4). Na konci potrubia sa upína skúšaná vzorka do vymeniteľných kruhových čelustí (5) definovanej plochy. Tu je vystavený kolmo prechádzajúcemu vzduchu. Množstvo takto prejdeného vzduchu meriame rotametrom (6). [31]

Z nameraných hodnôt množstva prejdeného vzduchu textílie a z veľkosti skúšanej plochy sa vypočíta priedušnosť.

4.6.3.1 Štandardné zariadenia na meranie priedušnosti

METEFEM FF -12/A

-určený k meraniu priedušnosti plošných textílií pre odevné i technické účely.

SDL M 021S

- slúži k meraniu priepustnosti plošných textílií

FX 3300 firmy TEXTTEST

- slúži k presnému, rýchlemu a jednoduchému určeniu priedušnosti plošných textílií. Je vhodný pre laboratórne meranie i pre testovanie hotových výrobkov.

4.6.3.1.1 Meracie zariadenie FX 3300 firmy TEXTTEST AG.

Jeho princíp spočíva vo vytvorení tlakového rozdielu medzi oboma povrchmi testovanej textílie (najčastejšie 100 - 200 Pa). Testovaná plocha činí 20 cm². Priepustnosť sa vyjadruje v m³/m².s, po skrátení v m/s.

Je automatizovaný, digitalizovaný, výkonný a má vymeniteľnú upínaciu hlavu.

Skúšaná vzorka sa položí na čeľuste hlavy a napne stlačením ramena. Tým sa automaticky zapne ventilátor. Potrebný skúšobný tlak je automaticky zoštelovaný. Za niekoľko sekúnd sa na displeji objaví hodnota priedušnosti meraného vzorku v predvolených jednotkách. Potom sa ventilátor vypne a uvoľní sa rameno zovierajúce vzorku. Pred zapnutím ventilátora je vzorka zvýšením tlaku fixovaná. To umožňuje jednoduchšiu manipuláciu so zariadením.

Tlak je digitálne predvolený, jeho konštantnosť sa zaisťuje elektronicky. Pomocou diferenciálneho snímača je presne meraný tlak i pri vysokých hodnotách priedušnosti. Prístroj komunikuje cez rozhranie RS 232 s počítačom, kde je možné číselné spracovanie, zápis a vyhodnotenie. [32]

Rozsah prístroja:

Prietok vzduchu je v celkovom rozsahu od 7 až 100000 l.hod⁻¹ v závislosti na meranej ploche. Plocha je 5 až 100 cm². Skúšobný tlak je v rozsahu 95 až 2500 Pa.



Obr. 4.11 Zariadenie TEXTEST FX 3300 Labotester III [32]

4.6.4 Predpoklad

Pri hodnotení priepustnosti je nutné brať do úvahy podmienky, za akých jednotlivé experimenty realizujeme. Ak prevádzame meranie na suchej textílii, potom samotné meranie nie je ničím ovplyvňované. Ak však hodnotíme priedušnosť mokrej textílie, musíme zohľadniť vlastnosti materiálu a štruktúru hodnotenej textílie.

Pri kontakte textílie s vodou môže dôjsť k zmene štruktúrnych parametrov v závislosti na type vlákenného materiálu. Je známe, že bavlnené či viskóзовé vlákno

pri kontakte s vodou bobtná, čím môže dôjsť k zmenšeniu pórov textílie a následne k zníženiu priedušnosti. Tento jav nepredpokladáme u nenavlhavých vlákien, napr. u polyesteru, či polypropylénu.

4.6.5 Použité zariadenia

- analytické váhy s presnosťou merania 0,0001 g, zn. KERN 770
- sušiareň
- zariadenie TEXTTEST FX 3300

4.6.6 Experiment

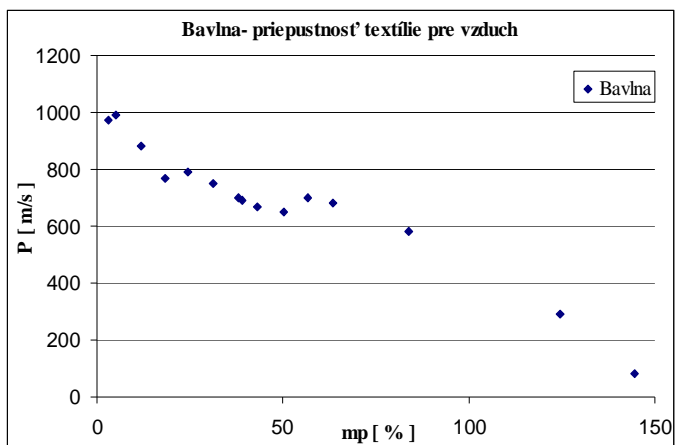
Laboratórne meranie bolo zamerané na hodnotenie priepustnosti vzduchu textíliou, ktoré ovplyvňuje tepelno-izolačné vlastností a charakterizuje pórovitosť textílie.

Príprava vzoriek prebiehala v laboratóriu KTC, následne však samotné meranie priedušnosti bolo uskutočnené v laboratóriu KHT. Vzorky boli zmočené, zvážené a uzatvorené v igelitových vreckách, aby nedochádzalo k úniku a zmene zaznamenanaj vlhkosti. Vzorky boli vážené s presnosťou 0,0001 g.

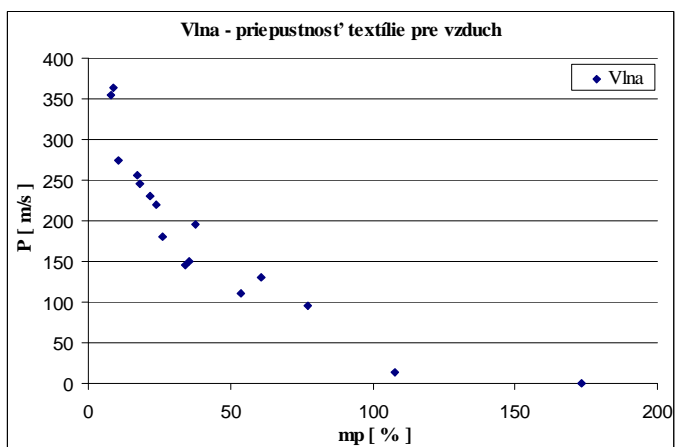
Vzorka materiálu bola vložená na meranú oblasť a upnutá za pomoci upínacej hlavy, ktorá je umiestnená na ramene prístroja. V tomto okamihu dochádza k zapnutiu ventilátora a textíliou začne prechádzať vzduch. Hodnotu priedušnosti zobrazenú na displeji nie je potrebné prepočítavať. Táto hodnota bola zaznamenaná. Uvoľnením ramena s hlavicou bolo meranie ukončené. Pre vzorky, ktoré boli predmetom experimentu, bol zvolený tlakový spád 200 Pa pri skúšobnej ploche 20 cm². Zaznamenaná hodnota priedušnosti je v jednotkách m/s.

Každé meranie muselo prebiehať čo najrýchlejšie. Hodnoty priedušnosti boli odčítané a zaznamenané maximálne do 5 sekúnd od začiatku prefukovania textílie. Týmto spôsobom merania bolo možné vyhnúť sa zmenám v hodnotách priedušnosti vlhkých vzoriek, ktoré by boli spôsobené prefukovaním textílie, následným odlietavaním kvapaliny a sušením textílie. S predlžujúcim časom merania sa hodnoty priedušnosti zvyšovali až po hodnotu priedušnosti suchých vzoriek .

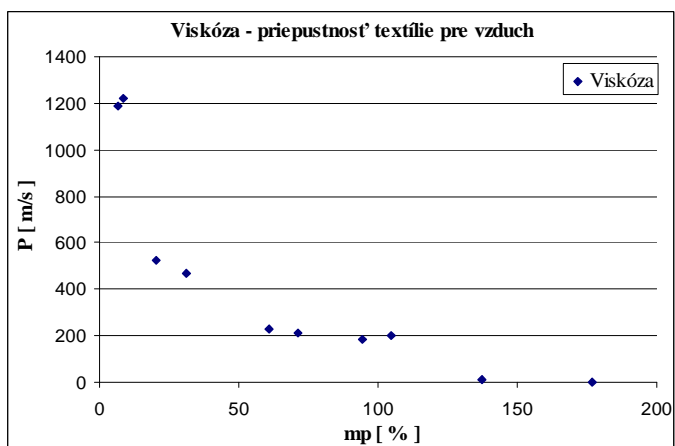
4.6.7 Výsledok merania



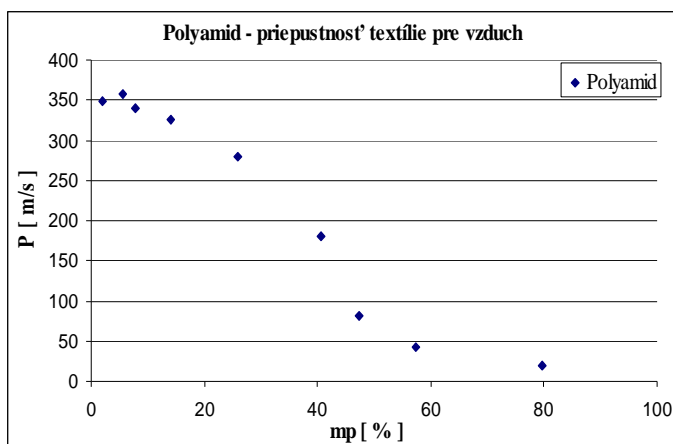
Graf 4.19: Závislosť hodnôt priedušnosti [P] na hodnote mokrého prívažku [mp], bavlna



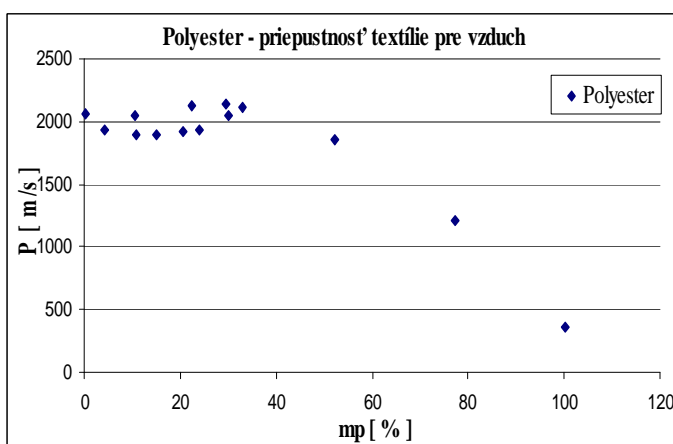
Graf 4.20: Závislosť efektivity filtrácie [P] na hodnote mokrého prívažku [mp], vlna



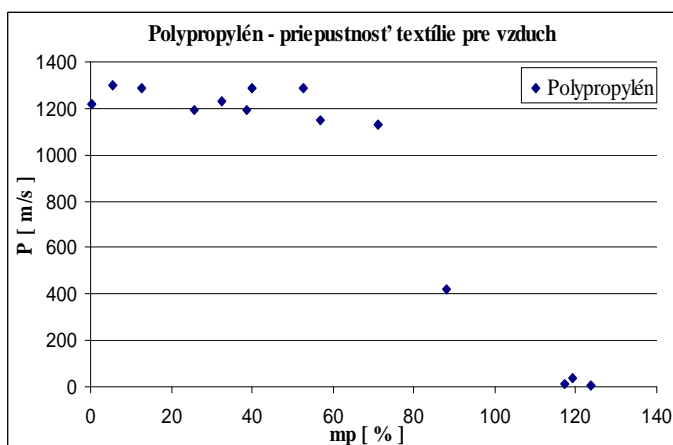
Graf 4.21: Závislosť efektivity filtrácie [P] na hodnote mokrého prívažku [mp], viskóza



Graf 4.22: Závislosť efektivity filtrácie [P] na hodnote mokrého prívažku [mp], polyamid



Graf 4.23: Závislosť efektivity filtrácie [P] na hodnote mokrého prívažku [mp], polyester



Graf 4.24: Závislosť efektivity filtrácie [P] na hodnote mokrého prívažku [mp], polypropylén

4.6.8 Vyhodnotenie

Z uvedených hodnôt a ich grafického spracovanie je viditeľné, že so zvyšujúcim obsahom vlhkosti klesá priedušnosť textílií. Pokles priedušnosti u vlnených a viskózových vzoriek pripomína logaritmickú funkciu.

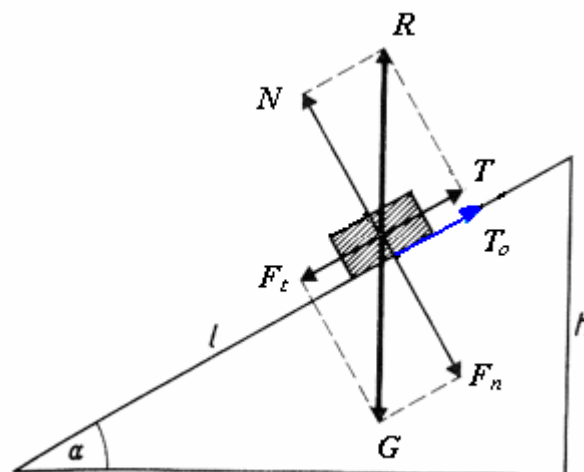
U syntetických materiálov, najmä polypropylénu a polyesteru sa zdá, že existuje nejaká kritická hodnota obsahu vlhkosti, po ktorú si textília zachováva priedušnosť suchej textílie. Po prekročení tejto kritickej hodnoty priedušnosť rapídne klesá.

U vzoriek z polypropylénu a viskózy boli namerané pri maximálnych hodnotách mokrého prívažku nulové hodnoty priedušnosti, čo znamená, že textília sa stala nepriedušnou. Dá sa predpokladať, že u viskózovej tkaniny bol tento jav spôsobený bobtnaním vlákien a tým zníženiu pórovitosti tkaniny. U polypropylénu je možné predpokladať, že kvapalina vytvorila na textílii súvislý kvapalinový film, ktorý zároveň vyplnil i medzivlákné priestory a póry tkaniny.

4.7 Experiment IV- koeficient trenia

4.7.1 Teória trenia

Trenie, je prírodný jav, ktorý má charakter procesu a ako taký sa viaže na vzájomný relatívny pohyb dvoch dotýkajúcich sa prvkov. Vzniká pri posúvaní, resp. valení telesa po podložke.

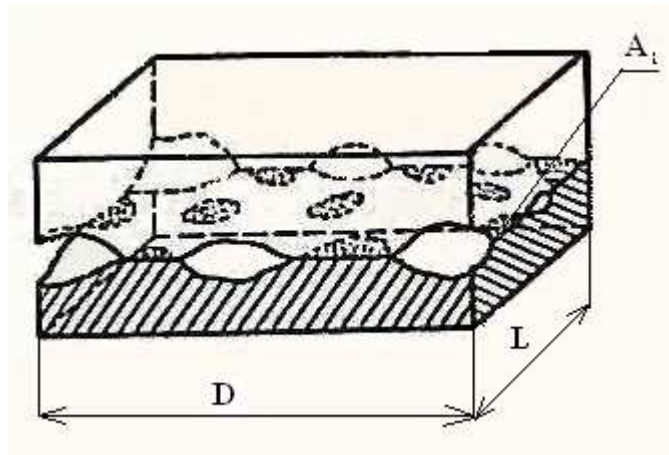


Obr. 4.12 Kontaktné sily na naklonenej rovine[43]

Ak sa pohybujú po sebe dve reálne telesá, ktoré sú k sebe pritláčané silou dochádza na dotykovej ploche telesa a podložky ku vzájomnému silovému pôsobeniu a k vzniku sily, ktorá tomuto pohybu kladie odpor. Hovoríme jej *trecia sila*.

Tento jav je charakterizovaný vznikom sily pôsobiacej v dotyčnicovej rovine dotyku proti vzájomnému pohybu oboch telies. Fyzikálna podstata vzniku trecej sily môže byť rôzna, podľa podmienok za akých k pohybu oboch telies došlo. Trecia sila závisí na druhu trecích plôch a na ich akosti. Ak je vzájomná pohyb posuvný, hovoríme o *šmykovom trení*.

Základným poznatkom teórie trenia je, že dotyk reálnych telies sa neuskutočňuje v celej, makroskopicky pozorovateľnej ploche dotyku, ale v množstve mikroskopických dotykových plôšok A_i [m^2] vznikajúcich v miestach vzniku výčnelkov podľa obr.4.13. Tieto mikroskopické plôšky vytvárajú skutočnú plochu dotyku, ktorá je oveľa menšia než zdanlivá dotyková plocha $D.L$ [m^2] . [37]



Obr. 4.13 Skutočný dotyk dvoch telies na vrcholoch nerovnosti, ktoré sa plasticky deformujú [37]

Skúsenosť potvrdzuje platnosť základných makroskopických zákonov šmykového trenia.

4.7.1.1 Makroskopické zákony

1) trecia sila je priamoúmerná pôsobiacemu zaťaženiu obr. 4.12

$$T = \mu \cdot N, \quad (35)$$

kde:

N normálna tlaková sila [N]

T trecia sila [N]

μ koeficient šmykového trenia [-]

- to znamená, že ak zväčšujeme n -krát tlakovú silu N pridávaním záťaže na teleso je trecia sila T n -krát väčšia

2) Trecia sila nezávisí na makroskopickej ploche dotyku klzajúcich telies

3) Trecia sila T_0 nutná k uvedeniu telesa do pohybu zo stavu klúdu je väčšia než sila T , nutná k udržaniu relatívneho rovnomerného pohybu

$$T_0 > T \quad (36)$$

$$\mu_0 > \mu \quad (37)$$

$$T_0 = \mu_0 N \quad (38)$$

Konštantu μ_0 [-] nazývame koeficient šmykového trenia v klúde (statický koeficient trenia)

Konštantu μ [-] nazývame koeficient šmykového trenia za pohybu (dynamický koeficient trenia) [35]

Aby dve telesá s dokonale hladkým povrchom boli pri dotyku vzájomne k sebe v klúde, musia byť sily, ktorými vzájomne na seba pôsobia, kolmé k spoločnej rovine. Takéto sily sa tuhosťou telies navzájom vyrušia a nezostáva žiadna zložka, ktorá by mohla spôsobiť relatívny pohyb oboch telies. [36]

4.7.1.2 Druhy trenia

Podľa spôsobu trenia z fyzikálneho hľadiska trenie rozdeľujeme:

- trenie vlečné (šmykové, klzné)
- trenie valivé
- trenie opásaním

4.7.1.2.1 Trenie vlečné (šmykové, klzné)

Pri dotyku čistých povrchov sa nerovnosti plasticke deformujú do tej miery, až vzniká skutočná dotyková plocha (tj. súčet všetkých mikroskopických dotkových plôšok, na ktorých sa telesá dotýkajú), ktorá je schopná uniesť kolmú tlakovú silu N . Teória predpokladá, že stredné napätie v tlaku δ [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$] na skutočnej styčnej ploche A [m^2] ($A = \sum A_i$) je stále a veľkosť stredného dotyčnicového napätia τ [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$] potrebného k ušmyknutiu spojov závisí na veľkosti adhézie v celej styčnej ploche.

Potom sú kolmá tlaková sila a celková sila trenia dané vzťahmi $N = \delta A$ a $T = \tau A$. Takže súčiniteľ šmykového trenia definovaný ako pomer dotyčnicovej sily trenia ku kolmej tlakovej sile je:

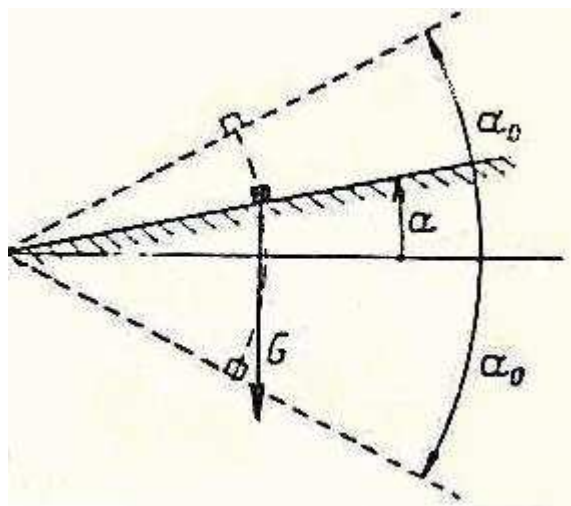
$$\mu = \frac{\tau}{\delta} \quad (39)$$

Ak je adhézia veľmi silná, kladie sa zvyčajne τ rovno napätiu na medzi pevnosti v šmyku mäkkšieho kovu, avšak doposiaľ nie je jasná predstava o tom, aký je vzťah kolmého napätia δ v dotkových plôškach k mechanickým vlastnostiam materiálu ako celku. Možno predpokladať, že závisí na pružnom a plastickom správaní sa materiálu. Zatiaľ teda nemožno spoľahlivo dopredu určiť súčiniteľ šmykového trenia z mechanických vlastností trených materiálov. Uvedená predstava vysvetľuje skutočnosť zistenú v širokom rozsahu experimentálnych podmienok, že súčiniteľ šmykového trenia nezávisí na veľkosti kolmej tlakovej sily a teda, trecia sila je úmerná kolmej tlakovej sile a nezávisí na zdanlivej veľkosti dotkových plôch. [37]

$$T = \mu \cdot N \quad (40)$$

4.7.1.3 Uhly naklonenej roviny

Keď položíme na naklonenú rovinu nejaké teleso, pozorujeme, že teleso zostáva na rovine v klúde, ak má uhol sklonu α vhodnú veľkosť. Z obrázku je viditeľné, že teleso nezostáva v pokoji iba pri určitej hodnote uhla, ale i v celej sústave uhlov.

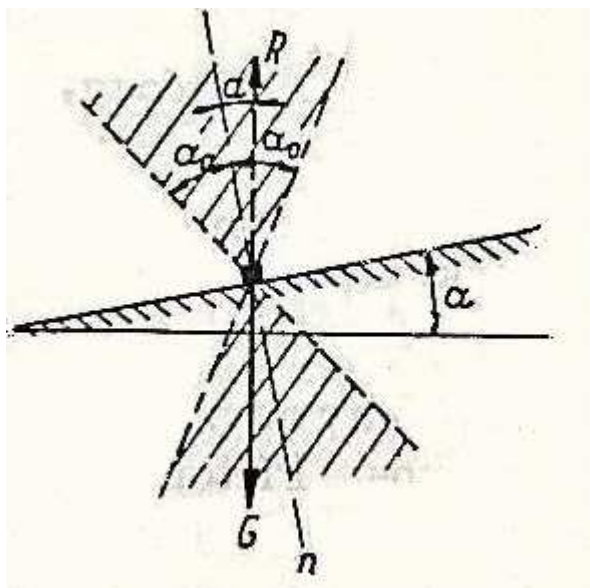


Obr. 4.14 Uhly naklonenej roviny [37]

Ak je uhol α menší, než určitá medzná hodnota α_0 , tak sa teleso nepohybuje. Akonáhle uhol α túto medznú hodnotu prekročí, dá sa teleso do pohybu. Uhol α_0 závisí na kvalite povrchu oboch telies a je tým menší, čím sú povrchy hladšie. Tento uhol vhodne charakterizuje šmykové trenie a nazýva sa *uhlom trenia v klúde*.

Keďže tak ako tiaž telesa G ($G=m \cdot g$), tak i reakcia roviny R zvierajú s normálou roviny rovnaký uhol ako naklonená rovina s vodorovným smerom (obr.4.15), bude teleso na rovine v klúde tak dlho, pokiaľ uhol α medzi tiažovou silou G alebo reakciou R a normálou n neprekročí hodnotu α_0 , teda podmienka uľpenia je vyjadrená nerovnosťou [37]

$$\alpha \leq \alpha_0 . \quad (41)$$



Obr. 4.15 Uhly naklonenej roviny [37]

Ak sa čo len nepatrne zväčší uhol sklonu α naklonenej roviny nad uhol trenia v kľude α_0 , dá sa teleso na rovine do pohybu. [36]

4.7.2 Metódy merania trenia textilných materiálov

V predchádzajúcej časti bolo uvedené, že existuje trenie statické i dynamické. V praxi nás zaujímajú oba druhy trenia. Nie na každom zariadení je možné oba druhy trenia zisťovať. Niektoré prístroje slúžia na meranie trenia statického, iné zariadenia zaisťujú iba trenie dynamické. Existujú však i zariadenia, ktoré umožňujú zisťovať ako trenie statické, tak i dynamické.

Meranie koeficientu trenia je možné rozdeliť do 4 skupín:

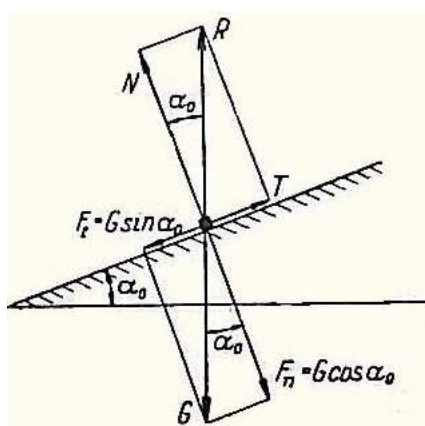
1. dve dotýkajúce sa roviny sa pohybujú voči sebe posuvným pohybom
2. dve dotýkajúce sa roviny, z ktorých jedna kľže po druhej, rotujúcej rovine
3. rovina kľže proti smeru rotujúceho valca
4. rovina v tvare pásu obopína rotujúcu valcovú plochu

ad 1.) Do tejto skupiny pre meranie trenia plošných textílií patrí i metóda naklonenej roviny.

4.7.2.1 Metóda naklonenej roviny

Pre meranie trenia plošných textílií je možné použiť metódu naklonenej roviny, ktorá umožňuje najjednoduchší spôsob merania statického koeficientu trenia. Pomocou tejto metódy je však možné merať i dynamický koeficient trenia.

Trecia sila, pretože je to reakcia, má opačný smer než sila, ktorá sa snaží telesa v smere ich styčnej plochy navzájom posunúť a dokiaľ relatívny pohyb nenastane, má s ňou i rovnakú veľkosť. Trecia sila teda zmizne, ak nepôsobí žiadna sila, ktorá by mohla spôsobiť relatívny pohyb telesa. Takúto vlastnosť trecej sily v kľude musíme vyžadovať, ak má byť zachovaný princíp zotrvačnosti.



Obr. 4.16 Rovnováha na naklonenej rovine[37]

Predpokladajme, že naklonená rovina má sklon, ktorý sa rovná uhlu trenia. Teleso umiestnené na naklonenej rovine je v kľude. To znamená, že tiaž telesa G sa ruší s reakciou podpory R . Ak platí $R = -G$, rušia sa i zložky oboch síl v kolmom smere k naklonenej rovine a i v smere k nej dotyčnicovom. Kolmá zložka F_n je v rovnováhe s kolmou zložkou reakcie roviny N a dotyčnicová zložka F_t tiažovej sily je zrejme v rovnováhe s dotyčnicovou zložkou T reakcie roviny. Dotyčnicová zložka T je trecou silou. Pomocou rovníc je jednoduché nájsť vzťah trecej sily k uhlu trenia α_0 .

Z obr. 4.16 vyplýva:

$$|F_t| = |T| = |G| \cdot \sin \alpha_0 \quad (42)$$

$$|F_n| = |N| = |G| \cdot \cos \alpha_0 \quad (43)$$

Potom pre veľkosť trecej sily platí:

$$|T| = |N| \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 \quad (44)$$

Uhol trenia α_0 je pre dva dané povrchy stály, takže trecia sila je priamoúmerná tlakovej sile, ktorou jedno teleso pôsobí na druhé. Ak pre konštantu úmernosti zavedieme označenie $\mu_0 = \operatorname{tg} \alpha_0$,

potom môžeme úmernosť medzi trecou silou a kolmou tlakovou silou môžeme vyjadriť v tvare:

$$|T| = \mu_0 |N| \quad (45)$$

Konštanta μ_0 sa nazýva koeficient šmykového trenia v kľude alebo tiež statický koeficient šmykového trenia. Tento koeficient je bezrozmerné číslo a závisí rovnako ako uhol trenia α_0 na vlastnostiach dotýkajúcich sa plôch.[37]

4.7.2.2 Koeficient trenia

Pre zisťovanie veľkosti trecej sily stanovujeme koeficient trenia, ktorý vlastne určuje veľkosť trenia. Koeficient šmykového trenia je nutné vždy vzťahovať k určitej materiálovej dvojici a konkrétnym podmienkam trenia.[37]

Ako už bolo spomínané vyššie, trecia sila závisí na druhu dotykových plôch a na ich akosti. V našom prípade bude samozrejme záležať na type plošnej textílie, na druhu použitého materiálu, z ktorého je textília vyrobená a na parametroch tkaniny.

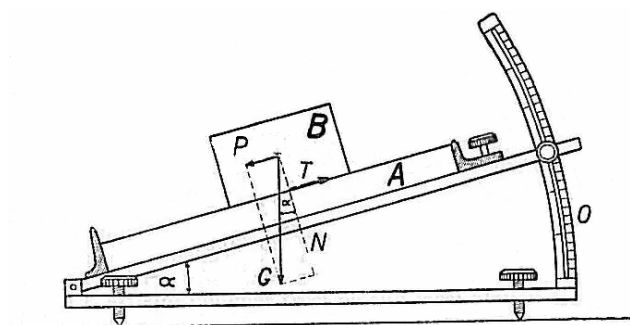
4.7.3 Tribometer

Zariadenie určené k stanoveniu koeficientu trenia sa nazýva *tribometer*.

Keďže žiadna norma ČSN nestanovuje presné postupy skúšania, sú postupy merania koeficientu trenia a zariadenia pre jeho stanovenie navrhované jednotlivými pracoviskami. Pre jednoduchosť merania a zanesenia čo najmenšieho počtu chýb do merania, je dobré vychádzať z podstaty a princípu trenia. Na tento účel sa využívajú zariadenia nazývané tribometer.

- 1) ťahový tribometer - meranie statického koeficientu šmykového trenia
- 2) sklonný tribometer - meranie statického koeficientu šmykového trenia
- 3) tribometer HEF - meranie dynamického koeficientu šmykového trenia

4.7.3.1 Sklonný tribometer



Obr. 4.17 Sklonný tribometer [39]

Ide v podstate o naklonenú rovinu, na ktorej je umiestnené teleso. Naklonenú rovinu pomaly nakláňame a sledujeme uhol sklonu, kedy dôjde k pohybu telesa. Pre koeficient trenia medzi daným telesom a podložkou platí vzťah.

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \mu_0 \quad (46)$$

Chybu do tohto merania môže vnášať chvenie dosky naklonenej roviny pri jej naklápaní. Pre toto meranie nie je možné použiť vzorky s veľkou výškou, pre ich veľký sklopný moment. Tento moment by mohol tiež do merania vniesť nepresnosti. Sklonný tribometer je vhodný k meraniu pri nízkych zaťaženiach povrchu merným tlakom.

4.7.4 Predpoklad

Vlhkosť pôsobí na trenie dvojakým spôsobom.

- vytvára vrstvu na povrchu polyméru
- je pohlcovaná polymérom

Kvapalina v štruktúre tkaniny môže spôsobovať rôzne javy. U vlákien na báze celulózy dochádza k bobtnaniu vlákien a tým k zmene zaplnenia priadze i samotnej textílie.

Pri nízkych obsahoch vlhkosti sa kvapalina na vláknach môže vyskytovať vo forme kvapôčok mikroskopických rozmerov či vo forme segmentových oblastí v miestach dotyku dvoch vlákien.

Pri vysokých obsahoch mokrého prívažku môžu vznikať v mieste styku dvoch vláken až aglomeračné oblasti kvapaliny alebo môže dôjsť k úplnému "zaliatiu" a vyplneniu celého objemu textílie. Na povrchu vláken sa vytvára kvapalný film.

Ak by tento kvapalný film na povrchu vláken bol dostatočne hrubý, možno predpokladať, že kovové závažie by po kvapaline klzalo. Tento prípad však nevedie k určeniu koeficientu trenia.

Pri malej hrúbke kvapalného filmu možno predpokladať pôsobenie kapilárnych síl medzi podložkou a kovovým telieskom. Kovové teliesko pôsobením týchto síl prilne k podložke, čím sa pravdepodobne koeficient trenia zvýši.

V odbornej literatúre sa o vplyve vlhkosti na koeficient trenia pre PAD pojednáva nasledovne:

So zvýšením obsahu vlhkosti koeficient trenia rastie. Navlhčením predbežne vysušeného PAD dochádza k veľkému zníženiu tvrdosti, pri trení sa to prejavuje v približne úmernom zvýšení plochy dotyku. Koeficient trenia sa u PAD nasýteného vodou zväčší približne o 20%.

Ak sa i cez značný nárast plochy kontaktu pri pohlcovaní vody zvýši koeficient trenia iba nepatrne, je dôvod predpokladať, že sa aktivita vzájomného molekulového pôsobenia medzi dotýkajúcimi sa povrchmi znižuje. To je spôsobené tým, že polárna molekula vody difunduje do medzier medzi molekulami polyméru a reaguje so skupinami CO a NH. [38]

4.7.5 Použité zariadenia

- analytické váhy s presnosťou merania 0,0001 g, zn. KERN 770
- sušiareň
- naklonená rovina
- laboratórny fulár

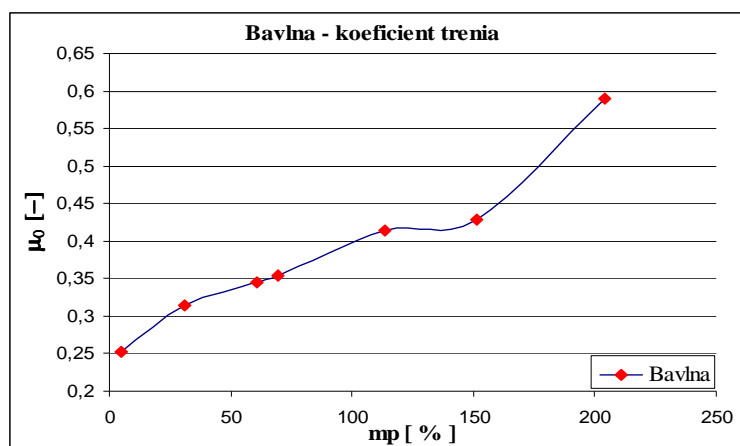
4.7.6 Experiment

Naklonená rovina bola zostrojená zo sklonnej dosky z plexiskla rozmerov 25 x 30 cm. Na zadnej stene, kolmej k vodorovnej podložke bola pripevnená stupnica, ktorá umožňovala odčítanie zdvihu sklonnej dosky. Pre kontrolu a overenie výsledkov bol na zadnú stenu pripevnený i uhlomer.

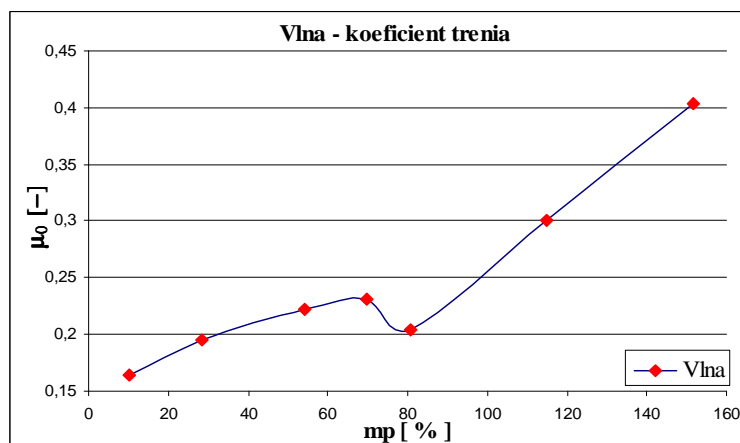
Vzorky boli kolíčkami prichytené k hornému okraju pohyblivej dosky. Vo vodorovnej polohe bolo k hornému okraju dosky umiestnené i kovové závažie.

Počiatočná poloha kovového závažia sa menila pri hornom okraji dosky v celej šírke vzorky. Závažie malo hmotnosť 16,29 g, dotyková plocha medzi podložkou a závažím bola $7,065 \text{ cm}^2$. Pomalým a v rámci možností rovnomerným zdvíhaním sklonnej dosky bol menený uhol medzi vodorovnou podložkou a povrchom textílie. Sklonná doska bola nakláňaná až do prvého vizuálneho zaznamenania pohybu telesa. Nákláňanie dosky bolo v momente pohybu telesa zastavené a na stupnici bola odčítaná výška zdvihu dosky h . Dĺžka sklonnej dosky bola 30 cm. Pomocou goniometrických funkcií bol dopočítaný uhol sklonu sklonnej dosky α_0 , tzv. uhol trenia v klude. Po zistení veľkosti tohto uhla bolo možné pomocou vzťahu $\mu_0 = \tan \alpha_0$ dopočítať hodnotu μ_0 , statický koeficient trenia.

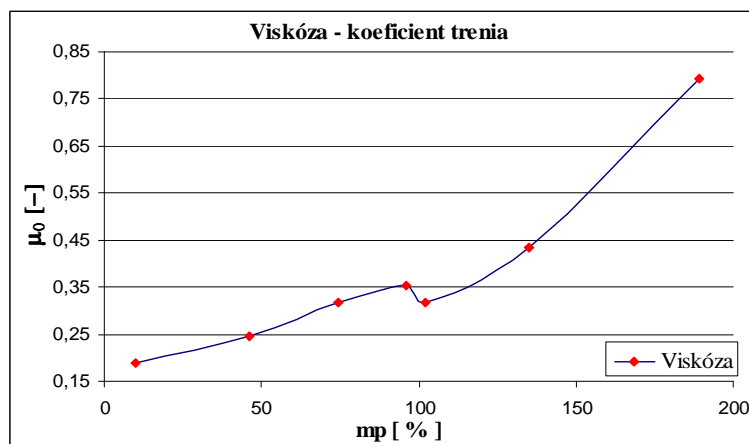
4.7.7 Výsledok merania



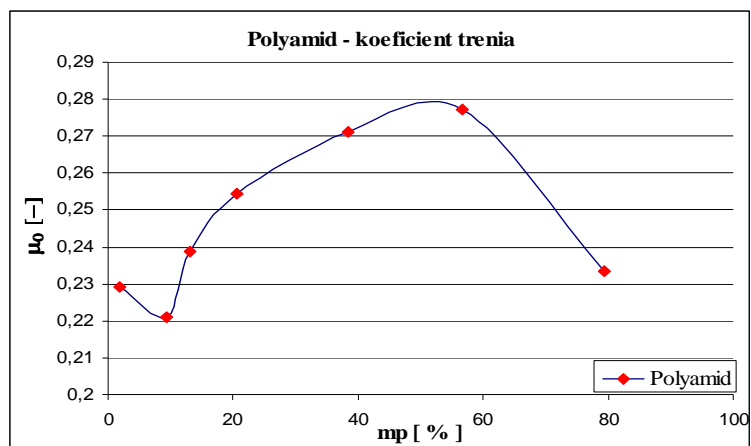
Graf 4.25: Závislosť statického koef. trenia [μ_0] na hodnote mokrého prívažku [mp], bavlna



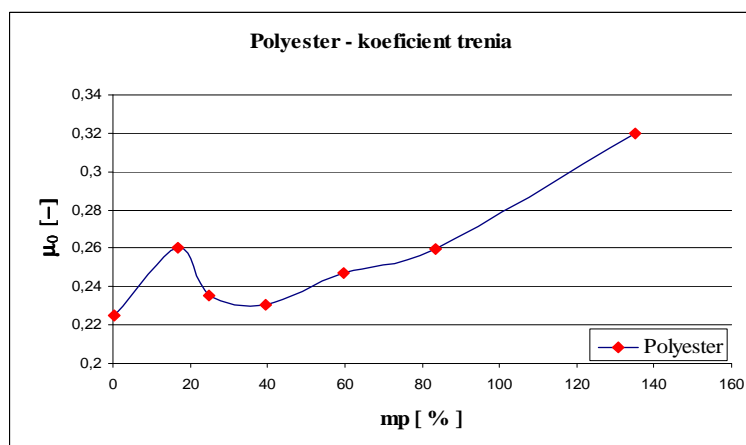
Graf 4.26: Závislosť statického koef. trenia [μ_0] na hodnote mokrého prívažku [mp], vlna



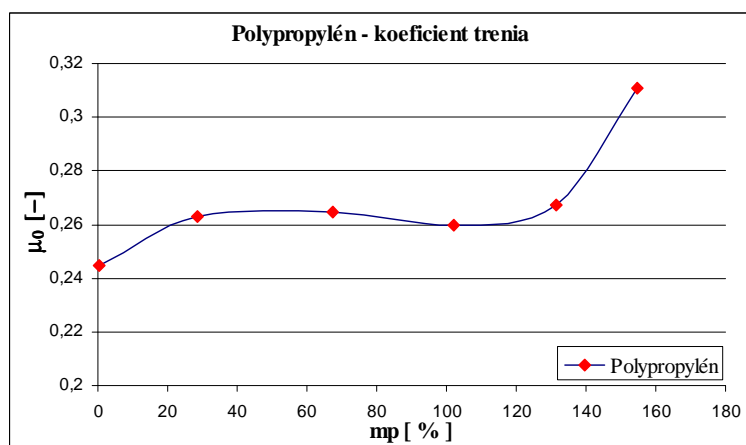
Graf 4.27: Závislosť statického koef. trenia [μ_0] na hodnote mokrého prívažku [mp], viskóza



Graf 4.28: Závislosť statického koef. trenia [μ_0] na hodnote mokrého právažku [mp], polyamid



Graf 4.29: Závislosť statického koef. trenia [μ_0] na hodnote mokrého právažku [mp], polyester



Graf 4.30: Závislosť statického koef. trenia [μ_0] na hodnote mokrého právažku [mp], polypropylén

4.7.8 Vyhodnotenie

Experimentálne bolo dokázané, že vlhkosť textílií má veľký vplyv na koeficient trenia.

Všeobecne je možné konštatovať, že u všetkých sledovaných textilných materiálov s nárastom obsahu vlhkosti rástol i koeficient trenia. Táto funkcia má exponenciálny charakter.

Nárast koeficientu trenia s obsahom vlhkosti je markantný najmä u vláken na báze celulózy, ktoré sú hydrofilné a v kontakte s vodou intenzívne bobtnajú. Veľmi podobne sa správala i vlna. Správanie syntetických materiálov bolo odlišné - nárast koeficientu trenia bol iba mierny, v prípade polypropylénu takmer zanedbateľný.

Miera nárastu koeficientu trenia s obsahom vlhkosti súvisia s hydrofilitou textílie. Čím hydrofilnejšia je textília, tým väčší je nárast koeficientu trenia s obsahom vlhkosti v textílii.

5 Záver

Výsledky jednotlivých experimentov preukázali, že vplyv vlhkosti na textílie je značný. So zvyšujúcim obsahom vlhkosti sa niektoré vlastnosti textílií zlepšovali, iné zasa zhoršovali.

U všetkých experimentov sa preukázalo odlišné správanie prírodných vlákien na báze celulózy, oproti syntetickým vláknam. Toto pripisujeme ich vysokej hydrofilite. Jednoduché prenikanie vlhkosti do vlákien má za následok bobtnanie vlákien i priadzí, zmenšovanie medzivláknenných priestorov, zvýšenie objemového zaplnenia a pokles pórovitosti textílií.

Dielčie závery a vyhodnotenia jednotlivých meraní sú i v závere každého experimentu.

Experiment I.: Sledovaný priebeh sušiacich kriviek suchých a vlhkých vzoriek bol rozdielny. Pri suchých materiáloch krivka ukazuje, že teplota povrchu textílie v čase narastá takmer lineárne až do teploty, kedy teplota vzorku dosiahne maximum, kde sa teplota ustáli na konštantnej teplote. Pri vlhkých materiáloch je z kriviek viditeľné, že teplota narastá do teploty 60 - 70 °C, kde sa teplota na určitý čas ustáli. Tu dochádza k odparovaniu kvapaliny, teda sušeniu, kedy sa dodávané teplo spotrebováva na premenu kvapalnej fázy na plynnú. Tomuto dočasnému "ustáleniu" teploty hovoríme časové zdržanie Δt [s].

Sledovaním sušiacich kriviek bolo zistené, že časové zdržanie sa pri sušení textílií s narastajúcim obsahom vlhkosti predlžuje. Časové zdržanie vykazuje lineárnu závislosť na obsahu vlhkosti v textílii, vyjadrenom mokrým prívažkom mp [%].

Zaujímavým zistením bolo, že teplota povrchu vzorky pri fázovej premene je pre rôzne materiály odlišná. Najvyššia teplota povrchu vzorky pri ustálení bola 72 °C, nameraná u bavlny, naopak najnižšia teplota 54 °C, nameraná u polyamidu.

Experiment II.: Hodnoty efektivity textilného filtra E_F [%] vo vzduchosuchom stave sa pre prírodné a syntetické vzorky líšia približne o 20 %. Hodnoty efektivity textilného filtra z prírodných vlákien a viskózy dosahovali približne 80 - 88 %. Hodnoty efektivity textilného filtra zo syntetických vlákien dosahovali hodnotu 64 %. Plošná

hmotnosť a dostava textílie v tomto smere pravdepodobne nezohráva veľkú úlohu, čo je pravdepodobne možné odôvodniť vysokým prietokom vzduchu.

Filtračná schopnosť suchých vzoriek je nižšia ako u mokrých vzoriek. Miernym zvýšením vlhkosti v textílií sme dosiahli výrazné zvýšenie hodnoty efektivity, čo možno vysvetliť uľpívaním prachových častíc na vlhkých vláknach.

U prírodných vlákien bola kritickou hodnotou mokrého prívážku hodnota približne 60%. Zvýšením obsahu vlhkosti nad túto hodnotu dochádza k poklesu hodnoty efektivity.

Pri textílii z polypropylénu je kritická hodnota mokrého prívážku približne 20%. Pokles efektivity u všetkých textílií môže byť spôsobený „vyrážaním“ kvapaliny zo štruktúry textílie pôsobením prúdiaceho vzduchu. „Vyrážaná“ kvapalina unášala i prachové častice, ktoré sa zachytili na „absolútnom“ filtri.

Odlišný priebeh kriviek bol zaznamenaný u vzoriek z polyamidu a polyesteru, kde k poklesu efektivity nedošlo. Maximálna hodnota mokrého prívážku je však v porovnaní s ostatnými vzorkami takmer polovičná.

Vplyv vlhkosti teda výrazne zmenil filtračnú schopnosť textílií. Môžeme konštatovať, že vlhkosť pozitívne vplyva najmä pri nízkych hodnotách obsiahnutej vlhkosti. Možno však predpokladať, že i pri vyšších hodnotách mokrého prívážku vzrastá efektivita filtra, je však nutné zamedziť „vyrážaniu“ kvapaliny z textílie prúdiacim vzduchom. Vychádzam z predpokladu, že vo väčšom objeme kvapaliny v štruktúre textílie sa zachytí väčšie množstvo prachových častíc. U celulóзовých vlákien zvýšenie filtračnej schopnosti podporuje bobtnanie vlákien.

Experiment III.: Bolo zistené, že priedušnosť textílií $P [m.s^{-1}]$ so stúpajúcim obsahom vlhkosti prudko klesá. Hodnoty priedušnosti suchých vzoriek sú závislé na dostave, pórovitosti a plošnej hmotnosti textílií. S týmito parametrami súvisí i priedušnosť vlhkých vzoriek s prihliadnutím na hygroskopicitu prírodných celulóзовých vlákien a s nimi súvisiacimi javmi.

Pri vysokom obsahu vody dosahovali hodnoty priedušnosti veľmi nízke hodnoty, dokonca u niektorých materiálov meranie pri maximálnych hodnotách mokrého prívážku nebolo možné, lebo rozsah meracej stupnice na prístroji FX 3300 pri tlakovom spáde 200 Pa neumožňoval zaznamenať príslušnú hodnotu priedušnosti. Hodnota priedušnosti týchto vzoriek bola vyhodnotená ako nulová.

Experiment IV.: Experimentálne bolo dokázané, že vlhkosť textílií má veľký vplyv na koeficient trenia μ_0 [-].

Všeobecne je možné konštatovať, že u všetkých sledovaných textilných materiálov s nárastom obsahu vlhkosti rástol i koeficient trenia. Táto funkcia má exponenciálny charakter.

Nárast koeficientu trenia s obsahom vlhkosti je markantný najmä u vlákien na báze celulózy, ktoré sú hydrofilné a v kontakte s vodou intenzívne bobtnajú. Veľmi podobne sa správala i vlna. Správanie syntetických materiálov bolo odlišné - nárast koeficientu trenia bol iba mierny, v prípade polypropylénu takmer zanedbateľný.

Miera nárastu koeficientu trenia s obsahom vlhkosti súvisí s hydrofilitou textílie. Čím hydrofilnejšia je textília, tým väčší je nárast koeficientu trenia s obsahom vlhkosti v textílii.

Vysvetlenie tohto pozorovania je zložité, pretože na hodnote koeficientu trenia sa za podmienok pokusu podieľa množstvo faktorov.

Niektoré zo zúčastnených javov môžu byť:

- Niektoré vlákna v kontakte s vodou bobtnajú a mení sa zaplnenie textílie.
- Na povrchu vlákien sa vytvára kvapalný film, ktorého trecie vlastnosti sú odlišné voči povrchu vlákien. Tento film sa tvorí najmä na hydrofilných vláknach.
- V prípade, že sú vlákna pokryté kvapalinou, potom sa v kontakte medzi zmočeným vláknom a kovovým závažím vytvorí kvapalinový meniskus, ktorý priťahuje teliesko k textílii pomocou povrchového napätia kvapaliny. Tým rastie tlaková sila medzi telieskom a textíliou - s tým sa mení i vypočítaný koeficient trenia.

Pre ďalší výskum zaoberajúci sa danou problematikou by bolo vhodné zjednotiť vstupný materiál tak, aby parametre testovaných tkanín boli aspoň približne porovnateľné, čím by bolo možné presnejšie vyhodnotiť a reprodukovať výsledky.

Pri sledovaní filtračných charakteristík, by bolo vhodné znížiť prietok vzduchu, čím sa zníži objem kvapaliny "vyrazenej" zo štruktúry textílie. Zistila by sa tak skutočná filtračná schopnosť vlhkej textílie.

Ďalším doporučením je zmeniť druh kvapalnej matrice. Jednak za kvapalinu, ktorá nespôsobuje bobtnanie celulóзовých vlákien a tým neovplyvňuje výsledky experimentov. Druhým variantom kvapalnej matrice je kvapalina s vyššou viskozitou, čím by bolo možné obmedziť stekanie kvapaliny k dolnému okraju vzorky a zaistiť lepšie zadržanie kvapaliny v štruktúre textílie. Tretím variantom kvapalnej matrice je kvapalina, ktorá sa neodparuje. Tým by bolo možné udržať kvapalinu na textílii dlhší čas, hlavne počas merania.

Jednotlivé návrhy zmien kvapalnej matrice však nie sú vhodné jednoznačne pre všetky experimenty rovnako.

6 Zoznam použitej literatúry

- [1] http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061005/4-vlastnosti_vlaken.pdf
- [2] Militký, J.: Textilní vlákna, Technická univerzita v Liberci, 2002
- [3] Lukáš, D.: Teorie netkaných textilií, Skripta Technická univerzita v Liberci, 1999
- [4] Šubová, V.: Smáčení vlákenných materiálů, Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, KNT, 2001
- [5] Militký, J.: Prednášky: Speciální vlákna, Textilní vlákna-skripta, Technická univerzita v Liberci, 2007
- [6] Wiener, J.: Dynamika procesu vztlínání kapaliny, 8.konference STRUTEX Technická univerzita v Liberci, 2001
- [7] Krčma, R.: Teorie netkaných textilií, Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1986
- [8] Jirsák, O.; Kalinová, K.: Netkané textilie, Technická univerzita v Liberci, 2003
- [9] Militký, J.: Technické textilie - vybrané kapitoly, Technická univerzita v Liberci, 2007
- [10] Dostalová, M.; Křivánková, M.: Základy textilní a oděvní výroby, Technická univerzita v Liberci, 2004
- [11] Kovář, R.: Struktura a vlastnosti plošných textilií, Technická univerzita v Liberci, 2003
- [12] Sodomka, L.: Struktura, vlastnosti, diagnostika a nové technologie oddělování, spojování a pojení textilií, Technická univerzita v Liberci, 2002
- [13] Míšek, B.: Kompozity, Technický dozorčí spolek Brno, 2003
- [14] <http://www.wikipedia.cz>
- [15] Folprechtová, D.; Grégr, J.; Meduna, F.: Chemie - návody na cvičení, Technická univerzita v Liberci, 1999
- [16] http://referaty.atlas.sk/prirodne_vedy/ekologia/4297/?page=23
- [17] <http://www.converter.cz/tabulky/viskozita-vody.htm>
- [18] Machaňová, D.: Predúprava textilií II, Technická univerzita v Liberci, 2008
- [19] Gambichler, T.; Hatch, K.L.; Avermaete, A.; Altmeyer, P.; Hoffmann, K.: Influence of wetness on the ultraviolet protection factor (UPF) of textiles: in vitro and in vivo measurements., Department of Dermatology, Ruhr-University Bochum, 2002, Publikované www.pubmed.gov

- [20] norma ČSN 80 0101, Bavlněná doprovodná tkanina, Výzkumný ústav zušlechťovací, Dvůr Králové nad Labem, 1983
- [21] norma ČSN 80 0107, Vlněná doprovodná tkanina, Vlnářský průmysl GŘ, Brno, 1981
- [22] norma ČSN 80 0100, Doprovodná tkanina z viskózové stříže, Výzkumný ústav zušlechťovací, Dvůr Králové nad Labem, 1983
- [23] norma ČSN 80 0108, Doprovodná tkanina z polyesterové stříže, Výzkumný ústav zušlechťovací, Dvůr Králové nad Labem, 1980
- [24] norma ČSN 80 0117, Doprovodná tkanina z polyamidového hedvábí, Výzkumný ústav zušlechťovací, Dvůr Králové nad Labem, 1985
- [25] norma ČSN 80 0109, Doprovodná tkanina z polypropylénové stříže, Ústav pro zpracovávání chemických vláken, 1970
- [26] norma ON 12 5013 Metody zkoušení filtrů s podávaným prachem a gravimetrickým vyhodnocením, Výzkumný ústav vzduchotechniky, s.p. Praha
- [27] <http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nove/dokumenty/studmaterialy/filtr.pdf>
- [28] norma ČSN EN 779+ AC, Filtry atmosférického vzduchu pro odlučování částic u běžného větrání, ČVUT-Fakulta strojní, Praha, 1995
- [29] Růžicková, D.: Oděvní materiály, Technická univerzita v Liberci, 2003
- [30] Nosek, S.: Struktura a geometrie tkanin, Studijní materiál VŠST, 1996 (přetisk stejnomenné publikace VÚB Ústí nad Orlicí...
- [31] Staněk, J.: Nauka o textilních materiálech, díl 1, část 4, Vlastnosti délkových a plošných textilií, Vysoká škola strojní a textilní, 1988
- [32] <http://www.textest.ch/d/index.htm>, Firemná literatúra firmy TEXTTEST k zariadeniu FX 3300
- [33] Havrdová, M.: Chování plošných textilií při měření jejich prodyšnosti vzduchu, STRUTEX, Technická univerzita v Liberci, 2002
- [34] Neckář, B.: Morfologie a strukturní mechanika obecných vlákenných útvarů, Technická univerzita v Liberci, 2001
- [35] Oliva, V.; Olexa, J.: Úvod do teorie tření, opotřebení a kontaktního porušování, ČVUT, Praha, 1978
- [36] Sodomka, L.: Anizotropie netkaných textilií, Textil 35, 1980
- [37] Horák, Z.; Krupka, F.; Šindelář V.: Technická fyzika, Státní nakladatelství technické literatury ,n.p., 1960

- [38] Nosek, S.: Hypotéza o vzniku dynamického tření mezi materiály v textilních procesech, TU Liberec 2000
- [39] Horák, Z.; Krupka, F.; Šindelář V.: Základy technické fyziky, 1955
- [40] Kryštůfek, J.; Machaňová, D.; Odvárka, J.; Prášil, M.: Technologie zušlechťování, Technická univerzita v Liberci, 2002
- [41] <http://www.techcorp.cz>
- [42] <http://vydavatelstvi.vscht.cz>
- [43] <http://mfweb.wz.cz/fyzika/49d.htm>
- [44] Spierings, A.B.; Henkel, O.; Schmid, M.: Water absorption and the effects of moisture on the dynamic properties of synthetic mountaineering ropes, Empa-Materials Science and Technology, 2005
Publikované: www.sciencedirect.com
- [45] Lee, J.H.; Kim, S.H.; Lee, K.J.; Lim, D.Y.; Jeon, H.Y.: Determining the absorption properties of split-type microfiber fabrics by measuring the change in color depth, Textile research journal, 2004
Publikované: www.isiknowledge.com

7 Prílohy

7.1 Zoznam príloh

P I.: Tabuľky hodnôt

P II.: Vzorky použitých materiálov

P III.: Vzorka "absolútneho" filtra

P IV.: Použité zariadenia

7.2 Prílohy

P I.: Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt

1. Experiment I - Sušiacie krivky textílií

Tab.1.1.1 Bavlna - namerané hodnoty

t[s]	T [°C]- vzduchosuché	T [°C]- mp[%]=89	T [°C]- mp[%]=126	T [°C]- mp[%]=153	T [°C]- mp[%]=195
0	23	18	18	20	19
10	35	25	24	24	24
20	64	48	42	42	43
30	96	60	59	56	55
40	122	65	64	62	61
50	143	69	68	68	65
60	156	71	71	70	67
70	165	72	72	72	71
80	166	88	74	73	73
90	168	138	75	73	74
100	169	164	85	73	75
110	169	176	115	77	75
120	170	180	147	102	75
130	170	180	167	131	85
140		181	174	149	116
150			176	165	138
160			176	173	150
170			177	174	161
180			178	174	169
190				176	174
200				178	174
210					176
220					177
230					177
240					176
250					178

Tab.1.1.2 Bavlna - časové zdržanie

mp[%]	195	153	126	89
Δt [s]	75	60	50	35

Tab.1.2.1 Vlna - namerané hodnoty

t [s]	T [°C]- vzduchosuché	T [°C]- mp= 57%	T [°C]- mp=77%	T [°C]- mp=103%	T [°C]- mp=166%
0	24	17	18	17	16
10	38	22	20	22	20
20	66	40	40	39	34
30	91	53	51	53	49
40	111	58	58	59	59
50	128	61	61	61	62
60	143	61	62	61	64
70	152	62	63	62	64
80	156	62	62	63	65
90	158	78	64	62	65
100	160	100	73	63	65
110	162	120	91	63	65
120	161	138	111	67	66
130	162	150	131	76	65
140	162	155	144	91	65
150	162	158	153	109	66
160	163	158	155	127	67
170	162	158	156	142	74
180	163	159	156	152	87
190		159	156	155	101
200			157	155	120
210			157	155	136
220				156	147
230				156	153
240				157	155
250					156
260					157
270					157

Tab.1.2.2 Vlna - časové zdržanie

mp [%]	166	103	77	57
Δt [s]	125	82	59	45

Tab.1.3.1 Viskóza - namerané hodnoty

t [s]	T [°C]- vzduchosuché	T [°C]- mp[%] = 77	T [°C]- mp[%] = 99	T [°C]- mp[%]=136	T [°C]- mp[%]=172
0	26	17	17	17	16
10	36	21	22	22	19
20	63	39	35	37	34
30	88	53	49	48	46
40	108	57	57	57	56
50	126	58	59	60	60
60	141	60	60	61	61
70	148	61	61	62	63
80	154	63	62	62	64
90	156	65	63	62	63
100	156	76	65	62	63
110	156	95	75	62	64
120	158	113	90	63	64
130	159	133	105	64	64
140	159	148	119	68	65
150	160	155	135	80	68
160	160	156	145	94	76
170	160	157	150	112	87
180	160	157	153	128	100
190		157	153	139	119
200		158	153	146	136
210			153	151	146
220			154	155	153
230			154	156	155
240			154	156	158
250			154		156
260			156		156
270			156		157
280					157
290					158
300					159

Tab.1.3.2 Viskóza - časové zdržanie

mp[%]	172	136	99	77
Δt[s]	112	92	60	53

Tab.1.4.1 Polyamid - namerané hodnoty

t [s]	T [°C]- vzduchosuché	T [°C]- mp[%]=24	T [°C]- mp[%]=32	T [°C]- mp[%]=51	T [°C]- mp[%]=58
0	22	17	16	17	16
10	39	25	27	28	25
20	70	48	47	47	46
30	96	52	54	55	55
40	121	77	57	59	58
50	128	116	94	64	59
60	132	128	122	99	89
70	134	132	131	123	121
80	134	133	133	132	133
90	136	136	133	131	137
100	136	137	134	135	137
110	136	137	135	133	137
120	136	136	135	135	138
130	136	136	136	137	138
140	136		136	136	138
150	136		137	136	140
160	137		138	137	139
170	137			137	140
180	138				140

Tab.1.4.2 Polyamid - časové zdržanie

mp [%]	58	51	32	24
Δt [s]	25	22	14	11

Tab.1.5.1 Polyester - namerané hodnoty

t [s]	T [°C]- vzduchosuché	T[°C]- mp[%]=34	T[°C]- mp[%]=40	T[°C]- mp[%]=73	T[°C]- mp[%]=95
0	24	17	19	16	16
10	33	24	24	21	21
20	59	42	41	37	37
30	83	55	53	49	51
40	101	60	57	58	57
50	112	61	60	61	62
60	120	62	61	62	63
70	126	75	62	63	65
80	126	100	60	63	65
90	128	123	70	62	66
100	128	132	114	64	66
110	129	133	127	66	65
120	129	135	131	80	66
130	129	135	130	102	79
140	129	135	130	120	97
150		136	131	125	115
160		136	132	127	125
170		137	131	129	129
180		138	131	130	131
190		136		131	133
200				131	134
210				132	134
220				132	135
230				133	135

Tab.1.5.2 Polyester - časové zdržanie

mp [%]	95	73	40	34
Δt [s]	86	68	38	32

Tab.1.6.1 Polypropylén - namerané hodnoty

t[s]	T [°C]- vzduchosuché	T[°C]- mp[%]= 52	T[°C]- mp[%]=95	T[°C]- mp[%]=128
0	21	15	16	15
10	28,67	20	20	19
20	54,67	39	38	36
30	79,33	53	52	49
40	100,33	61	59	56
50	114,67	64	65	60
60	124	66	68	64
70	129,67	69	71	67
80	132	75	70	71
90	131,33	95	71	72
100	130,33	115	76	74
110	128,67	126	90	76
120		129	105	77
130		121	115	84
140		117	124	96
150		118	130	109
160			132	120
170			134	130
180			134	133
190			131	134
200			132	132
210				128
220				130

Tab.1.6.2 Polypropylén - časové zdržanie

mp [%]	128	95	52
Δt [s]	73	52	28

2. Experiment II - Priedušnosť textílií pre vzduch

Tab.2.1 Bavlna-namerané a dopočítané hodnoty

m_{vs}[g]	v_v [g]	v_{vV} [g]	m_{ASV} [g]	m_{zmoč}[g]	Δm[g]	mp[%]	P[m.s⁻¹]
1,9576	0,0338	0,0662	1,8914	1,9480	0,0566	3	972
1,9332	0,0361	0,0698	1,8634	1,9576	0,0942	5	991
1,9712	0,0338	0,0666	1,9046	2,1326	0,2280	12	880
1,9598	0,0338	0,0662	1,8936	2,2376	0,3440	18	770
1,992	0,0295	0,0588	1,9332	2,4057	0,4725	24	790
1,9912	0,0295	0,0587	1,9325	2,5370	0,6045	31	750
1,9844	0,0295	0,0585	1,9259	2,6580	0,7321	38	700
1,961	0,0338	0,0663	1,8947	2,6355	0,7408	39	690
1,9805	0,0295	0,0584	1,9221	2,7530	0,8309	43	670
1,9589	0,0338	0,0662	1,8927	2,8437	0,9510	50	650
1,9488	0,0361	0,0704	1,8784	2,9420	1,0636	57	700
1,9716	0,0295	0,0582	1,9134	3,1260	1,2126	63	680
1,948	0,0361	0,0703	1,8777	3,4546	1,5769	84	580
1,9542	0,0361	0,0705	1,8837	4,2310	2,3473	125	290
1,9347	0,0361	0,0698	1,8649	4,5610	2,6961	145	83,6

Tab.2.2 Vlna- namerané a dopočítané hodnoty

m_{vs}[g]	v_v [g]	v_{vV} [g]	m_{ASV} [g]	m_{zmoč}[g]	Δm[g]	mp[%]	P[m.s⁻¹]
2,7366	0,0753	0,2061	2,5305	2,7366	0,2061	8	354
2,6787	0,0823	0,2205	2,4582	2,6787	0,2205	9	363
2,6896	0,0823	0,2214	2,4682	2,7344	0,2662	11	275
2,7428	0,0823	0,2257	2,5171	2,9564	0,4393	17	256
2,5439	0,0272	0,0692	2,4747	2,9225	0,4478	18	246
2,6182	0,0272	0,0712	2,5470	3,1050	0,5580	22	230
2,5943	0,0272	0,0706	2,5237	3,1253	0,6016	24	220
2,7808	0,0823	0,2289	2,5519	3,2222	0,6703	26	180
2,5599	0,0272	0,0696	2,4903	3,3400	0,8497	34	146
2,588	0,0272	0,0704	2,5176	3,4100	0,8924	35	150
2,699	0,0753	0,2032	2,4958	3,4310	0,9352	37	195
2,7326	0,0823	0,2249	2,5077	3,8479	1,3402	53	111
2,7234	0,0753	0,2051	2,5183	4,0438	1,5255	61	130
2,7275	0,0753	0,2054	2,5221	4,4713	1,9492	77	95
2,7118	0,0753	0,2042	2,5076	5,2046	2,6970	108	12,9
2,6348	0,0753	0,1984	2,4364	6,6601	4,2237	173	0

Tab.2.3 Viskóza- namerané a dopočítané hodnoty

$m_{vs}[g]$	$v_v [g]$	$v_{vv} [g]$	$m_{ASV} [g]$	$m_{zmoč}[g]$	$\Delta m[g]$	$mp[\%]$	$P[m.s^{-1}]$
2,173	0,0795	0,1728	2,0002	2,1730	0,1728	9	1220
2,1191	0,0613	0,1299	1,9892	2,1191	0,1299	7	1190
2,1241	0,0613	0,1302	1,9939	2,3973	0,4034	20	525
2,1294	0,0613	0,1305	1,9989	2,6172	0,6183	31	470
2,1081	0,0613	0,1292	1,9789	3,1872	1,2083	61	230
2,1893	0,0795	0,1740	2,0153	3,4510	1,4357	71	213
2,1509	0,0795	0,1710	1,9799	3,8495	1,8696	94	185
1,8619	0,0613	0,1141	1,7478	3,5808	1,8330	105	200
2,1203	0,0795	0,1686	1,9517	4,6323	2,6806	137	9,82
2,1764	0,0795	0,1730	2,0034	5,5509	3,5475	177	0

Tab.2.4 Polyamid- namerané a dopočítané hodnoty

$m_{vs}[g]$	$v_v [g]$	$v_{vv} [g]$	$m_{ASV} [g]$	$m_{zmoč}[g]$	$\Delta m[g]$	$mp[\%]$	$P[m.s^{-1}]$
1,469	0,0192	0,0282	1,4408	1,4690	0,0282	2	349
1,4054	0,0077	0,0108	1,3946	1,4710	0,0764	5	358
1,4594	0,0077	0,0112	1,4482	1,5620	0,1138	8	340
1,424	0,0077	0,0110	1,4130	1,6120	0,1990	14	326
1,4036	0,0192	0,0269	1,3767	1,7328	0,3561	26	280
1,4473	0,0077	0,0111	1,4362	2,0180	0,5818	41	180
1,4053	0,0077	0,0108	1,3945	2,0540	0,6595	47	82
1,3972	0,0192	0,0268	1,3704	2,1554	0,7850	57	43
1,4262	0,0192	0,0274	1,3988	2,5137	1,1149	80	20

Tab.2.5 Polyester- namerané a dopočítané hodnoty

$m_{vs}[g]$	$v_v [g]$	$v_{vV} [g]$	$m_{ASV} [g]$	$m_{zmoč}[g]$	$\Delta m[g]$	$mp[\%]$	$P[m.s^{-1}]$
2,7546	0,0024	0,0066	2,7480	2,7546	0,0066	0,2	2060
2,8747	0,0032	0,0092	2,8655	2,9860	0,1205	4	1930
2,8032	0,0032	0,0090	2,7942	3,0862	0,2920	10	2050
2,8684	0,0032	0,0092	2,8592	3,1720	0,3128	11	1890
2,8748	0,0032	0,0092	2,8656	3,2960	0,4304	15	1890
2,8763	0,0013	0,0037	2,8726	3,4630	0,5904	21	1920
2,8069	0,0024	0,0067	2,8002	3,4260	0,6258	22	2130
2,8024	0,0013	0,0036	2,7988	3,4670	0,6682	24	1930
2,8338	0,0024	0,0068	2,8270	3,6630	0,8360	30	2140
2,7821	0,0013	0,0036	2,7785	3,6110	0,8325	30	2050
2,7878	0,0024	0,0067	2,7811	3,7012	0,9201	33	2110
2,8886	0,0024	0,0069	2,8817	4,3886	1,5069	52	1850
2,8216	0,0024	0,0068	2,8148	4,9918	2,1770	77	1217
2,8822	0,0024	0,0069	2,8753	5,7550	2,8797	100	363

Tab.2.6 Polypropylén- namerané a dopočítané hodnoty

$m_{vs}[g]$	$v_v [g]$	$v_{vV} [g]$	$m_{ASV} [g]$	$m_{zmoč}[g]$	$\Delta m[g]$	$mp[\%]$	$P[m.s^{-1}]$
2,1694	0,0027	0,0059	2,1635	2,1694	0,0059	0,3	1220
2,2352	0,0027	0,0060	2,2292	2,3509	0,1217	5	1300
2,1578	0,0018	0,0039	2,1539	2,4300	0,2761	13	1290
2,1642	0,0018	0,0039	2,1603	2,7155	0,5552	26	1190
2,2178	0,004	0,0089	2,2089	2,9262	0,7173	32	1230
2,2353	0,0027	0,0060	2,2293	3,0912	0,8619	39	1190
2,1678	0,0018	0,0039	2,1639	3,0300	0,8661	40	1290
2,2682	0,0027	0,0061	2,2621	3,4540	1,1919	53	1290
2,2266	0,004	0,0089	2,2177	3,4755	1,2578	57	1150
2,1648	0,004	0,0087	2,1561	3,6890	1,5329	71	1130
2,2081	0,0018	0,0040	2,2041	4,1450	1,9409	88	420
2,172	0,004	0,0087	2,1633	4,6980	2,5347	117	10
2,2265	0,0027	0,0060	2,2205	4,8710	2,6505	119	40,5
2,2641	0,0027	0,0061	2,2580	5,0503	2,7923	124	7,25

3. Experiment III - Filtračná schopnosť textílií

Tab.3.1 Bavlna- namerané a dopočítané hodnoty

$m_{vs}[g]$	$v_v [g]$	$v_{vV} [g]$	$m_{ASV} [g]$	$m_{zmoč}[g]$	$\Delta m[g]$	$mp[\%]$
1,939	0,0348	0,0675	1,8715	1,9390	0,0675	4
1,9758	0,0348	0,0688	1,9070	3,0903	1,1833	62
1,9381	0,0348	0,0674	1,8707	3,5808	1,7101	91
1,9628	0,0348	0,0683	1,8945	4,5860	2,6915	142
1,9753	0,0348	0,0687	1,9066	5,5306	3,6240	190

$mp[\%]$	$m_{F1} [g]$	$m_{F2} [g]$	$\Delta m_F [g]$	$m_{VF} [g]$	$E_F[\%]$	$P_F[-]$
4	1,273	1,322	0,049	2,037	80,4	0,196
62	1,253	1,291	0,038	2,010	84,8	0,152
91	1,242	1,272	0,050	1,990	80,0	0,200
142	1,315	1,373	0,058	1,960	76,8	0,232
190	1,326	1,395	0,069	1,942	72,4	0,276

Tab.3.2 Vlna- namerané a dopočítané hodnoty

$m_{vs}[g]$	$v_v [g]$	$v_{vV} [g]$	$m_{ASV} [g]$	$m_{zmoč}[g]$	$\Delta m[g]$	$mp[\%]$
2,59	0,0653	0,1691	2,4209	2,5900	0,1691	7
1,6354	0,0653	0,1068	1,5286	2,6520	1,1234	73
2,6573	0,0653	0,1735	2,4838	4,6635	2,1797	88
2,6505	0,0653	0,1731	2,4774	5,3240	2,8466	115
2,6402	0,0653	0,1724	2,4678	6,1069	3,6391	147

$mp[\%]$	$m_{F1} [g]$	$m_{F2} [g]$	$\Delta m_F [g]$	$m_{VF} [g]$	$E_F[\%]$	$P_F[-]$
7	1,339	1,37	0,031	2,803	87,6	0,124
73	1,257	1,288	0,031	2,583	87,6	0,124
88	1,281	1,325	0,044	2,588	82,4	0,176
115	1,26	1,315	0,055	2,573	78	0,22
147	1,246	1,312	0,066	2,556	73,6	0,264

Tab.3.3 Viskóza- namerané a dopočítané hodnoty

$m_{vs}[g]$	$v_v [g]$	$v_{vV} [g]$	$m_{ASV} [g]$	$m_{zmoč}[g]$	$\Delta m[g]$	$mp[\%]$
2,0893	0,0618	0,1291	1,9602	2,0893	0,1291	7
2,0979	0,0618	0,1297	1,9682	3,2830	1,3148	67
2,0636	0,0618	0,1275	1,9361	4,0695	2,1334	110
2,0343	0,0618	0,1257	1,9086	4,3600	2,4514	128
2,0898	0,0618	0,1291	1,9607	5,5425	3,5818	183

$mp[\%]$	$m_{F1} [g]$	$m_{F2} [g]$	$\Delta m_F [g]$	$m_{VF} [g]$	$E_F[\%]$	$P_F[-]$
7	1,4	1,443	0,043	2,075	82,8	0,172
67	1,305	1,318	0,013	2,079	94,8	0,052
110	1,415	1,432	0,017	2,033	93,2	0,068
128	1,582	1,6	0,018	1,965	92,8	0,072
183	1,34	1,36	0,02	1,989	92	0,08

Tab.3.4 Polyamid- namerané a dopočítané hodnoty

$m_{vs}[g]$	$v_v [g]$	$v_{vV} [g]$	$m_{ASV} [g]$	$m_{zmoč}[g]$	$\Delta m[g]$	$mp[\%]$
1,4664	0,0126	0,0185	1,4479	1,4664	0,0185	1
1,3935	0,0126	0,0176	1,3759	1,6863	0,3104	23
1,4006	0,0126	0,0176	1,3830	1,7523	0,3693	27
1,4351	0,0126	0,0181	1,4170	2,2500	0,8330	59
1,4289	0,0126	0,0180	1,4109	2,5340	1,1231	80

$mp[\%]$	$m_{F1} [g]$	$m_{F2} [g]$	$\Delta m_F [g]$	$m_{VF} [g]$	$E_F[\%]$	$P_F[-]$
1	1,55	1,639	0,089	1,511	64,4	0,356
23	1,514	1,582	0,068	1,4243	72,8	0,272
27	1,638	1,706	0,068	1,44	72,8	0,272
59	1,484	1,534	0,05	1,1659	80	0,2
80	1,495	1,534	0,039	1,442	84,4	0,156

Tab.3.5 Polyester- namerané a dopočítané hodnoty

$m_{vs}[g]$	$v_v [g]$	$v_{vV} [g]$	$m_{ASV} [g]$	$m_{zmoč}[g]$	$\Delta m[g]$	$mp[\%]$
2,754	0,00059	0,0016	2,7524	2,7540	0,0016	0,1
2,7842	0,00059	0,0017	2,7825	3,0464	0,2639	9
2,8284	0,00059	0,0017	2,8267	3,4750	0,6483	23
2,8814	0,00059	0,0017	2,8797	3,7460	0,8663	30
2,8054	0,00059	0,0017	2,8037	5,6840	2,8803	103

$mp[\%]$	$m_{F1} [g]$	$m_{F2} [g]$	$\Delta m_F [g]$	$m_{VF} [g]$	$E_F[\%]$	$P_F[-]$
0,1	1,431	1,52	0,089	2,829	64,4	0,356
9	1,413	1,478	0,065	2,8815	74	0,26
23	1,483	1,553	0,07	2,8389	72	0,28
30	1,48	1,549	0,069	2,9512	72,4	0,276
103	1,545	1,601	0,056	2,8489	77,6	0,224

Tab.3.6 Polypropylén- namerané a dopočítané hodnoty

$m_{vs}[g]$	$v_v [g]$	$v_{vV} [g]$	$m_{ASV} [g]$	$m_{zmoč}[g]$	$\Delta m[g]$	$mp[\%]$
2,2482	0,00185	0,0042	2,2440	2,2482	0,0042	0,2
2,2624	0,00185	0,0042	2,2582	2,9360	0,6778	30
2,2658	0,00185	0,0042	2,2616	3,6410	1,3794	61
2,2233	0,00185	0,0041	2,2192	4,8000	2,5808	116
2,2328	0,00185	0,0041	2,2287	5,6732	3,4445	155

$mp[\%]$	$m_{F1} [g]$	$m_{F2} [g]$	$\Delta m_F [g]$	$m_{VF} [g]$	$E_F[\%]$	$P_F[-]$
0,2	1,532	1,623	0,091	2,37	63,6	0,364
30	1,248	1,283	0,035	2,3278	86	0,14
61	1,432	1,488	0,056	2,3432	77,6	0,224
116	1,2996	1,368	0,0684	2,2671	72,64	0,2736
155	1,495	1,575	0,08	2,2647	68	0,32

4. Experiment IV - Koeficient trenia textílií

Tab.4.1 Bavlna- namerané a dopočítané hodnoty

	h[mm]- mp[%]=5	h[mm]- mp[%]=31	h[mm]- mp[%]=61	h[mm]- mp[%]=70	h[mm]- mp[%]=113	h[mm]- mp[%]=151	h[mm]- mp[%]=204
	76	92	102	95	116	125	160
	76	87	98	105	115	122	156
	75	92	98	98	112	121	150
	74	88	92	102	120	131	130
	75	92	92	102	115	117	145
	71	86	98	100	121	114	160
	77	94	100	100	109	110	153
	78	89	95	99	114	115	145
	65	92	103	102	113	112	147
	69	89	102	100	116	115	165
	76	84	97	99	120	121	165
	69	94	100	98	109	116	155
Σ	881	1079	1177	1200	1380	1419	1831
priemer	73,42	89,92	98,08	100,00	115,00	118,25	152,58
uhol $\alpha_0[^\circ]$	14,17	17,44	19,08	19,47	22,54	23,21	30,57
tg $\alpha_0=\mu_0$	0,25	0,31	0,35	0,35	0,42	0,43	0,59

m_{vs}[g]	v_v [g]	v_{vV} [g]	m_{ASV}[g]	m_{zmoč}[g]	Δm[g]	mp[%]	α₀ [°]	μ₀ [-]
2,4056	0,0468	0,1126	2,2930	2,4056	0,1126	5	14,17	0,25
2,49	0,0468	0,1165	2,3735	3,1072	0,7337	31	17,44	0,31
2,4321	0,0468	0,1138	2,3183	3,7310	1,4127	61	19,08	0,35
2,4575	0,0468	0,1150	2,3425	3,9760	1,6335	70	19,47	0,35
2,4056	0,0468	0,1126	2,2930	4,8945	2,6015	113	22,54	0,42
2,4325	0,0468	0,1138	2,3187	5,8250	3,5063	151	23,21	0,43
2,4155	0,0468	0,1130	2,3025	7,0023	4,6998	204	30,51	0,59

Tab.4.2 Vlna- namerané a dopočítané hodnoty

	h[mm]- mp[%]=10	h[mm]- mp[%]=28	h[mm]- mp[%]=54	h[mm]- mp[%]=70	h[mm]- mp[%]=81	h[mm]- mp[%]=115	h[mm]- mp[%]=152
	48	54	61	70	68	81	102
	47	65	66	71	58	87	113
	48	54	65	67	65	92	125
	47	57	70	66	60	89	122
	51	58	70	72	58	84	102
	45	62	64	63	58	89	109
	52	58	59	68	54	84	115
	45	60	66	71	62	88	107
	52	58	59	70	60	79	110
	55	56	64	66	56	92	119
	50	53	67	63	60	89	105
	44	53	68	64	60	84	120
Σ	584	688	779	811	719	1038	1349
priemer	48,67	57,33	64,92	67,58	59,92	86,50	112,42
uhol α_0[°]	9,34	11,02	12,50	13,02	11,52	16,76	22,01
tg $\alpha_0=\mu_0$	0,16	0,19	0,22	0,23	0,20	0,30	0,40

m_{vs}[g]	v_v [g]	v_{vV} [g]	m_{ASV} [g]	m_{zmoč}[g]	Δm[g]	mp[%]	α₀ [°]	μ₀ [-]
2,6869	0,094	0,2526	2,4343	2,6869	0,2526	10	9,34	0,16
2,6438	0,094	0,2485	2,3953	3,0750	0,6797	28	11,02	0,19
2,7239	0,094	0,2560	2,4679	3,8025	1,3346	54	12,50	0,22
2,6795	0,094	0,2519	2,4276	4,1240	1,6964	70	13,02	0,23
2,7728	0,094	0,2606	2,5122	4,5420	2,0298	81	11,52	0,20
2,6823	0,094	0,2521	2,4302	5,2220	2,7918	115	16,76	0,30
2,6869	0,094	0,2526	2,4343	6,1300	3,6957	152	22,01	0,40

Tab.4.3 Viskóza - namerané a dopočítané hodnoty

	h[mm]- mp[%]=10	h[mm]- mp[%]=46	h[mm]- mp[%]=74	h[mm]- mp[%]=96	h[mm]- mp[%]=102	h[mm]- mp[%]=135	h[mm]- mp[%]=189
	54	78	93	96	92	112	190
	59	64	89	104	89	100	193
	52	67	86	106	90	115	175
	59	70	88	107	91	125	186
	52	69	87	93	94	127	180
	55	76	95	102	89	120	187
	57	76	96	105	89	130	190
	62	78	98	98	89	126	183
	57	66	86	101	92	119	187
	56	70	88	106	95	120	190
	55	69	94	94	89	121	183
	52	72	86	92	89	117	192
Σ	670	855	1086	1204	1088	1432	2236
priemer	55,83	71,25	90,50	100,33	90,67	119,33	186,33
uhol α₀[°]	10,73	13,74	17,56	19,54	17,59	23,44	38,40
tg α₀=μ₀	0,19	0,24	0,32	0,35	0,32	0,43	0,79

m_{vs}[g]	v_v [g]	v_{vV} [g]	m_{ASV} [g]	m_{zmoč}[g]	Δm[g]	mp[%]	α₀ [°]	μ₀ [-]
2,076	0,0914	0,1897	1,8863	2,0760	0,1897	10	10,73	0,19
2,0325	0,0914	0,1858	1,8467	2,7023	0,8556	46	13,74	0,24
1,9777	0,0914	0,1808	1,7969	3,1331	1,3362	74	17,56	0,32
2,0688	0,0914	0,1891	1,8797	3,6845	1,8048	96	19,54	0,35
2,0782	0,0914	0,1899	1,8883	3,8140	1,9257	102	17,59	0,32
2,0948	0,0914	0,1915	1,9033	4,4770	2,5737	135	23,44	0,43
2,076	0,0914	0,1897	1,8863	5,4520	3,5657	189	38,40	0,79

Tab.4.4 Polyamid - namerané a dopočítané hodnoty

	h[mm]- mp[%]=2	h[mm]- mp[%]=9	h[mm]- mp[%]=13	h[mm]- mp[%]=2 1	h[mm]- mp[%]=38	h[mm]- mp[%]=57	h[mm]- mp[%]=80
	62	67	68	71	76	89	89
	71	63	73	70	78	88	70
	72	62	69	72	74	90	67
	67	66	65	67	76	87	67
	73	64	67	73	77	73	70
	66	66	69	75	79	73	63
	64	66	71	75	78	76	68
	69	64	73	76	85	79	63
	64	66	69	78	80	74	62
	67	64	75	76	78	83	69
	61	65	69	78	80	78	64
	68	64	68	77	81	72	67
Σ	804	777	836	888	942	962	819
priemer	67,00	64,75	69,67	74,00	78,50	80,17	68,25
uhol α₀[°]	12,90	12,46	13,43	14,28	15,17	15,50	13,15
tg α₀=μ₀	0,23	0,22	0,24	0,25	0,27	0,28	0,23

m_{vs}[g]	v_v [g]	v_{vV} [g]	m_{ASV} [g]	m_{zmoč}[g]	Δm[g]	mp[%]	α₀ [°]	μ₀ [-]
1,3979	0,019	0,0266	1,3713	1,3979	0,0266	2	12,90	0,23
1,678	0,019	0,0319	1,6461	1,8000	0,1539	9	12,46	0,22
1,4123	0,019	0,0268	1,3855	1,5680	0,1825	13	13,43	0,24
1,4398	0,019	0,0274	1,4124	1,7020	0,2896	21	14,28	0,25
1,4029	0,019	0,0267	1,3762	1,9050	0,5288	38	15,17	0,27
1,3839	0,019	0,0263	1,3576	2,1280	0,7704	57	15,50	0,28
1,1471	0,019	0,0218	1,1253	2,0200	0,8947	80	13,15	0,23

Tab.4.5 Polyester- namerané a dopočítané hodnoty

	h[mm]- mp[%]=0,3	h[mm]- mp[%]=17	h[mm]- mp[%]=2 5	h[mm]- mp[%]=39	h[mm]- mp[%]=60	h[mm]- mp[%]=83	h[mm]- mp[%]=13 5
	56	81	64	72	75	80	98
	66	79	70	72	69	75	87
	69	77	72	68	73	78	81
	70	75	66	70	74	72	108
	67	82	68	67	76	75	94
	68	73	68	65	76	77	78
	62	71	70	68	67	77	112
	66	72	70	66	73	73	87
	60	75	72	67	74	77	97
	70	73	68	68	69	70	90
	67	72	70	60	65	78	87
	70	75	67	66	72	76	78
Σ	791	905	825	809	863	908	1097
priemer	65,92	75,42	68,75	67,42	71,92	75,67	91,42
uhol α₀[°]	12,69	14,56	13,25	12,99	13,87	14,61	17,74
tg α₀=μ₀	0,23	0,26	0,24	0,23	0,25	0,26	0,32

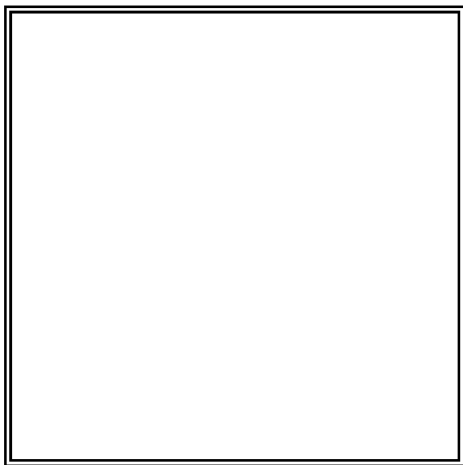
m_{vs}[g]	v_v [g]	v_{vV} [g]	m_{ASV} [g]	m_{zmoč}[g]	Δm[g]	mp[%]	α₀ [°]	μ₀ [-]
2,7912	0,0026	0,0073	2,7839	2,7912	0,0073	0,3	12,69	0,23
2,9093	0,0026	0,0076	2,9017	3,3923	0,4906	17	14,61	0,26
2,854	0,0026	0,0074	2,8466	3,5586	0,7120	25	13,25	0,24
2,9175	0,0026	0,0076	2,9099	4,0560	1,1461	39	12,99	0,23
2,9015	0,0026	0,0075	2,8940	4,6215	1,7275	60	13,87	0,25
2,878	0,0026	0,0075	2,8705	5,2620	2,3915	83	14,56	0,26
2,7912	0,0026	0,0073	2,7839	6,5500	3,7661	135	17,74	0,32

Tab.4.6 Polypropylén- namerané a dopočítané hodnoty

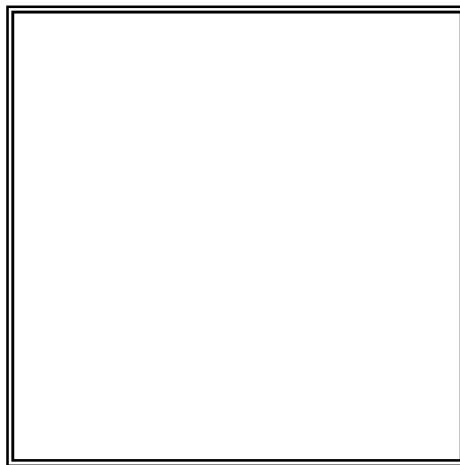
	h[mm]- mp[%]=0,6	h[mm]- mp[%]=29	h[mm]- mp[%]=67	h[mm]- mp[%]=102	h[mm]- mp[%]=131	h[mm]- mp[%]=155
	73	80	76	80	74	98
	71	81	80	70	80	98
	70	74	81	80	79	90
	72	73	80	75	77	88
	74	76	76	72	73	87
	70	81	77	77	80	80
	72	76	80	75	76	86
	70	76	73	75	79	84
	71	70	78	77	80	96
	71	76	74	77	77	88
	70	75	73	76	78	82
	71	77	73	72	77	92
Σ	855	915	921	906	930	1069
priemer	71,25	76,25	76,75	75,50	77,50	89,08
uhol α_0[°]	13,74	14,72	14,82	14,58	14,97	17,27
tg $\alpha_0=\mu_0$	0,24	0,26	0,26	0,26	0,27	0,31

m_{vs}[g]	v_v [g]	v_{vV} [g]	m_{ASV} [g]	m_{zmoč}[g]	Δm[g]	mp[%]	α₀ [°]	μ₀ [-]
2,2163	0,0059	0,0131	2,2032	2,2163	0,0131	0,6	13,74	0,24
2,1567	0,0059	0,0127	2,1440	2,7560	0,6120	29	14,72	0,26
2,273	0,0059	0,0134	2,2596	3,7813	1,5217	67	14,82	0,26
2,2506	0,0059	0,0133	2,2373	4,5212	2,2839	102	14,58	0,26
2,2143	0,0059	0,0131	2,2012	5,0915	2,8903	131	14,97	0,27
2,2163	0,0059	0,0131	2,2032	5,6110	3,4078	155	17,27	0,31

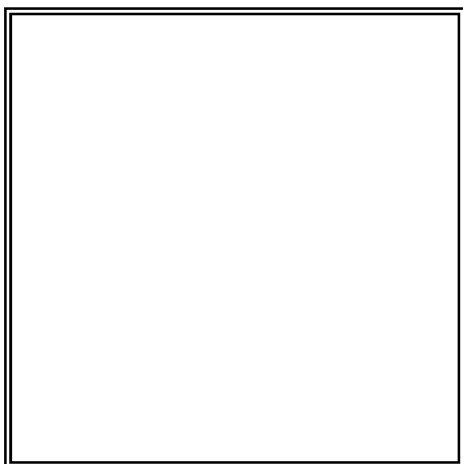
P II.: Vzorky použitých textilných materiálov



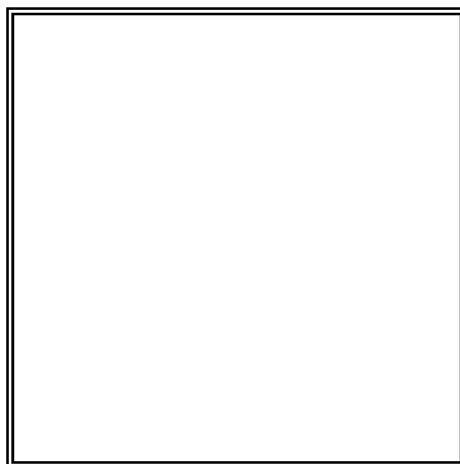
Bavlna



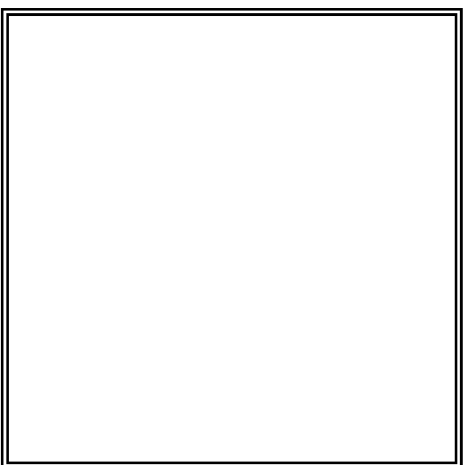
Vlna



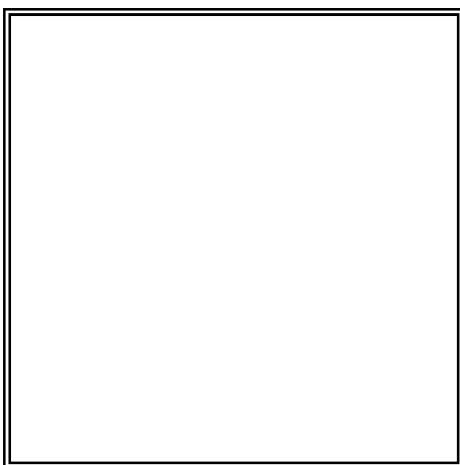
Viskóza



Polyamid

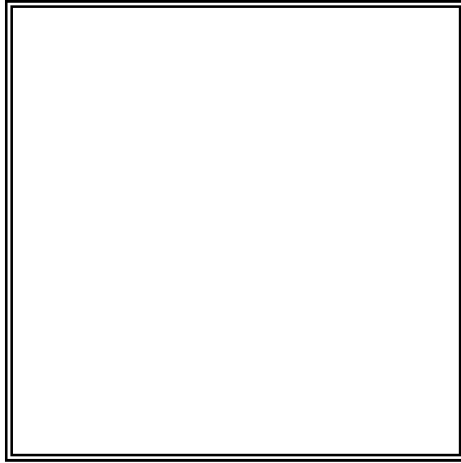


Polyester



Polypropylén

P III.: Vzorka "absolútneho" filtra



"Absolútny" filter

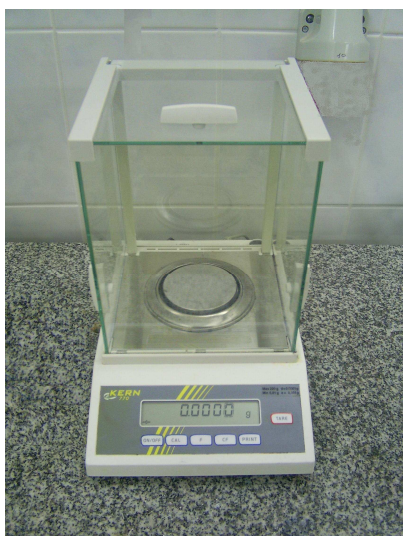
P IV.: Použité zariadenia



Infračervený tepelný žiarič zn. VERTUS Austria



Infračervený teplomer zn. TESTO 830-T2



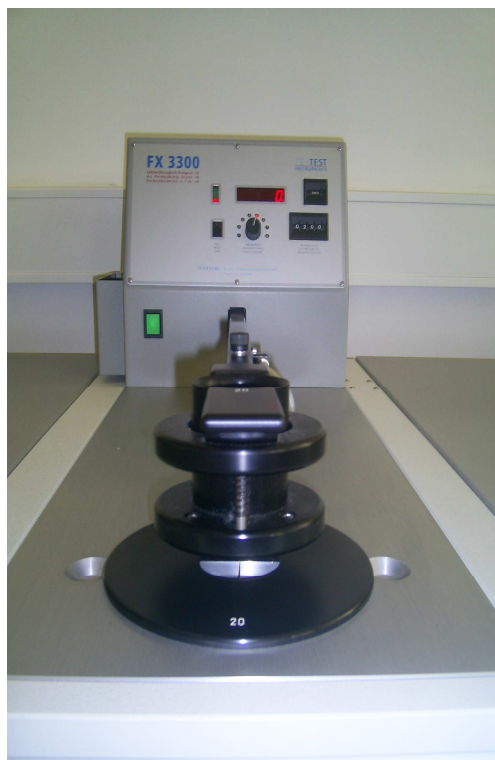
Analytické váhy zn. KERN 770



Naklonená rovina



Laboratorní fulár



FX 3300 firmy TEXTEST



Dust Filter Tester DFT-3

